אבולוציה, תודעה וחוק האוקטבה

אלי מלכי

malki@netmedia.net.il

יוני 2016

א. מבוא

במאמר קודם[1] הצגתי את מרכזיותו של המספר שבע בהגותה של כת האיסיים. הכת ייחסה חשיבות רבה לחלוקת הזמן למרכיבים שביעוניים: שבוע, שבת, שמיטה (שבע שנים) ויובל (שבע שמיטות שהן 49 שנים). כמוכן אמצה הכת את לוח השמש השביעוני, שמבוסס על 364 ימים שהם 52 שבועות.
המרכזיות של המספר שבע אצל האיסיים לא הייתה מוגבלת רק לאופן ספירת הזמן, אלא היה לה גם ביטוי קוסמי ורוחני. הדומיננטיות של המספר שבע נחשבה כביטוי לחוק אלוהי שמשתקף הן בעולם הנגלה והן בעולמות הרוחניים. המספר שבע, והביטוי שלו בלוח השמש השביעוני של האיסיים, משקפים חוק קוסמי שמקורו בהתגלות אלוהית ולא במוסכמה אנושית.
ניסוח חדש יותר של "חוק השבע" נמצא בכתביו של גיאורג איבאנוביץ' גורדייף, מורה רוחני ממוצא יווני-ארמני (1870-1949)[2]. גורדייף הציג דרך רוחנית ייחודית שאותה הוא כינה "הדרך הרביעית", שנלמדת עד היום במסגרות שונות. גורדייף ערך מסעות רבים ברחבי אסיה והמזרח התיכון, בחיפוש אחר ידע שנשתמר בתוך תרבויות ומסורות עתיקות. הוא ביקר ושהה במנזרים ובבתי ספר ממסורות שונות וחקר את התורות הרוחניות שנלמדו שם. בין היתר הוא מספר בכתביו שהוא שהה ולמד במנזרים איסיים.
משנתו של גורדייף מתמקדת בחוקיות ששוררת ביקום, הן בממד הפיזי והן בממד הרוחני. גורדייף טען שאותם חוקים פועלים בכל הממדים של היקום, ולכן על האדם ששואף להתפתחות רוחנית ללמוד את החוקים האלה ולהשתמש בהם לצורך התפתחותו. גורדייף ניסח בצורה מפורשת את "חוק השבע", שהוא קרא לו "חוק האוקטבה", כחוק שמתאר כיצד פועלים תהליכי התפתחות בעולם, הן במישור הפיזי והן במישור הרוחני. התהליך מתואר כעליה בתדירותן של התנודות, כאשר בין הרמה ההתחלתית לרמה שבה התדירות מוכפלת ישנן שבע דרגות. תהליך ההתפתחות האנושי איננו שונה מכל תהליך אחר של עליה מרמה אחת לרמה גבוהה יותר (או עליה בתדירות התנודות בטרמינולוגיה של גורדייף), ולכן גם הוא כפוף לחוק השבע.
בסופו של המאמר הקודם הראיתי כיצד מתבטא חוק השבע בשיטות מדיטציה שמקורן בהודו ובטיבט. שיטות אלה מתבססות על מערכת של שבעה מרכזי אנרגיה (צ'קרות) שנמצאים במיקומים שונים לאורך מערכת העצבים המרכזית והמוח. מרכזים אלה הם הכלי שבאמצעותו מתפתחת התודעה האנושית, כאשר תהליך ההתפתחות מבוסס על התמרה של אנרגיה נפשית שנעה ממרכז למרכז.
במאמר זה ברצוני להרחיב את הדיון בחוק האוקטבה ולהראות את הקשר שלו גם לעולם הפיזי. אם אכן חוק האוקטבה עומד בבסיס של כל תהליכי ההתפתחות, היינו מצפים לראות אותו גם בתהליכי התפתחות שקיימים בטבע. בהמשך אציג ממצאים שממחישים כיצד תהליכי ההתפתחות בטבע מבוססים על מחזוריות דומה לזאת שאנו רואים באוקטבה המוסיקלית, שמבטאת את חוק השבע. ממצאים אלה קיימים הן ברמה המולקולרית של החומר והן בתהליכי התפתחות של צמחים ובעלי חיים. בחלקו האחרון של המאמר אתייחס גם לתהליך האבולוציה הכללי שאותו אנו רואים בטבע, ולקשר של תהליך האבולוציה להתפתחות התודעה.

---

[1] "דרכם הרוחנית של האיסיים" - http://www.inbest.co.il/NGO/Essenes.pdf
[2] וויקיפדיה - https://en.wikipedia.org/wiki/George_Gurdjieff

ב. חוק האוקטבה

גורדייף השתמש באוקטבה המוסיקלית כמודל להצגתו של חוק השבע. מבנה האוקטבה המוסיקלית מוצג בטבלה שלהלן.

תו	תדירות	מרווח		חצאי טונים	מספר
דו	1.0000				**1**
		טון שלם	1.1225	2	
רה	1.1225				**2**
		טון שלם	1.1225	2	
מי	1.2599				**3**
		חצי טון	**1.0595**	1	
פה	1.3348				**4**
		טון שלם	1.1225	2	
סול	1.4983				**5**
		טון שלם	1.1225	2	
לה	1.6818				**6**
		טון שלם	1.1225	2	
סי	1.8877				**7**
		חצי טון	**1.0595**	1	
דו	2.0000			**12**	**8**

בין התו דו באוקטבה אחת לתו דו באוקטבה שמעליה מוכפלת תדירותו של הצליל. המרווחים בתוך האוקטבה מחולקים ל-7 תווים ול- 12 חצאי טונים. העלייה בתדר הצליל בין כל חצי טון היא בשיעור של 1.0594631, והיא מתקבלת באמצעות הקשר:

$$2 = 1.0594631^{12}$$

החלוקה הלא-סימטרית של התווים והטונים (7 תווים שמכילים 12 חצאי טונים) מצביעה על כך שהמרווחים בין התווים אינם שווים: בין התווים דו-רה, רה-מי, פה-סול, סול-לה, לה-סי ישנו מרווח של שני חצאי טונים (טון שלם).
כלומר העלייה בתדר הצליל בין התווים האלה היא בשיעור של 1.1224621 שמתקבל באמצעות הקשר:

$$1.1224621 = 1.0594631^{2}$$

לעומת זאת בין התווים מי-פה וסי-דו ישנם מרווחים של חצי טון, כלומר העלייה בתדר הצליל היא בשיעור של 1.0594631.
במלים אחרות המרווחים בין התווים שמשקפים את העלייה בתדר הצליל עד להכפלתו, אינם רציפים. ישנן 5 מרווחים של שני חצאי טונים ו- 2 מרווחים של חצי טון בלבד. נקודות אי הרציפות הן במעבר משלב 3 (התו מי) לשלב 4 (התו פה), ובמעבר משלב 7 (התו סי) לשלב 8, שהוא שלב 1 של האוקטבה הבאה (התו דו).
במאמר הקודם[3] הראיתי שחוק האוקטבה, היה המוטיב המרכזי בכתבי האיסיים, שעוסקים בהרחבה בחשיבותו של המספר שבע. העדות של גורדייף לגבי הקשר הישיר שלו עם מסדרים איסיים, תומכת בהשערה שהוא קבל את הידע הזה מהם.

[3] "דרכם הרוחנית של האיסיים", עמוד 30 ועמוד 104.

ג. מבנה החומר וכלל האוקטט

ביטוי של חוק האוקטבה קיים בתוך המבנה הבסיסי של החלקיקים שמרכיבים העולם הפיזי, ובמיוחד באותם חלקיקים שמרכיבים את עולם החי. על מנת להסביר זאת נציג ראשית תיאור של מבנה האטום והאופן שבו הוא מתקשר עם אטומים אחרים[4]. גרעין האטום מכיל את מירב המסה של האטום, למרות גודלו הקטן מבחינת הנפח. ניתן לחשוב על גרעין האטום כמעין כדור שמסביבו סובב ענן של אלקטרונים. גרעין האטום מכיל פרוטונים שהם חלקיקים בעלי מטען חשמלי חיובי. בנוסף לכך ברוב האטומים ישנם בגרעין חלקיקים נוספים שהם חסרי מטען חשמלי ונקראים ניוטרונים.

המספר האטומי של כל אטום מציין את מספר הפרוטונים בגרעינו והוא זה שקובע את זהות האטום. לכל יסוד מאותו הסוג יש מספר פרוטונים זהה. במקביל לכל אטום ישנו מספר זהה של אלקטרונים בעלי מטען חשמלי שלילי. כל אטום שבו מספר האלקטרונים שווה למספר הפרוטונים הוא מאוזן מבחינה חשמלית.

הכוחות החשמליים יוצרים משיכה בין מטענים מנוגדים (פרוטון ואלקטרון) ודחייה בין מטענים זהים. באטום מאוזן כוחות המשיכה והדחייה מבטלים אחד את השני ומאפשרים לאטום לשמור על מבנהו. אולם למרות האיזון שנובע מהמטענים החשמליים של מרכיבי האטום, האטומים אינם יושבים בשקט. מסתבר שבחלק מהאטומים קיים חוסר איזון מובנה שנובע מהיערכות האלקטרונים בתוך האטום. האלקטרון הוא ייצור מוזר מאוד. מצד אחד ניתן להגדיר אותו כחלקיק ולייחס לו מסה, מטען חשמלי ותכונות נוספות. מצד שני יש לו גם תכונות של גל, וכמו לגלים בים יש לו גובה ותדירות הופעה (מחזוריות). לפיכך האלקטרון הוא ייצור דואלי שיש לו גם תכונות שאופייניות לחלקיקים וגם תכונות שאופייניות לגלים.

האלקטרונים נמצאים מסביב לגרעין האטום באורביטלים שונים. הדרך האינטואיטיבית לחשוב על אורביטל היא כעל מסלול שבו נמצא האלקטרון שמקיף את הפרוטון (כמו המסלולים של כדור הארץ וכוכבי הלכת שמקיפים את השמש). אולם כאמור האלקטרון הוא במקביל גם חלקיק וגם גל, ואחד המאפיינים של גל הוא שאין לו מיקום אחד בחלל (למעשה הפיזיקאים מתארים את הגלים כשדות אנרגיה שפרושים במרחב). לפיכך ההגדרה המדויקת יותר של אורביטל היא האזור המסוים מסביב לאטום שבו ישנה הסתברות גבוהה למצוא את האלקטרון. לאורביטלים יש צורות שונות שניתן לחשב אותן באמצעות פונקציות מתמטיות מורכבות.

האלקטרונים אינם מפוזרים במרחק אחיד מסביב לגרעין האטום, אלא נמצאים בקליפות כשלכל קליפת אלקטרונים ישנו מספר מרבי של אלקטרונים שהיא יכולה להכיל. כאשר קליפה אחת מתמלאת, האלקטרונים עוברים לקליפה שמעליה. לכל קליפה ישנה רמת אנרגיה שונה והאלקטרונים תמיד יאכלסו את הקליפה בעלת רמת האנרגיה הנמוכה יותר לפני שיעבור לקליפה רחוקה יותר שלה יש רמת אנרגיה גבוהה יותר. רמת האנרגיה הגבוהה ביותר קיימת בקליפה החיצונית (ביחס לגרעין) שנקראת "קליפת הערכיות".

האלקטרונים שנמצאים בקליפת הערכיות הם אלו שמשתתפים בתגובות כימיות ובקשרים כימיים, ולכן הם בעלי חשיבות רבה בקביעת תכונותיו הכימיות של האטום. בטבלה המחזורית מסודרים כל האטומים בעלי מבנה דומה של אלקטרונים בקליפת הערכיות בטור משותף.

אם לצורך הדימוי נייחס לאטומים "רצון", אזי השאיפה של כל אטום להתחבר עם אטומים אחרים וליצור מבנים מורכבים יותר (תרכובות) תלויה במספר האלקטרונים שנמצאים בקליפת הערכיות שלו. מסתבר שרוב האטומים שואפים להשלים את מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות ל- 8. ישנה קבוצה של חומרים שנקראת "גזים אצילים" שלהם ישנם 8 אלקטרונים בקליפה החיצונית (מלבד הגז הליום שהקליפה החיצונית שלו יכולה להכיל רק 2 אלקטרונים). מבנה האטום של הגזים האצילים (לדוגמא: הליום או ניאון) הוא הדגם השלם של סידור האלקטרונים ברמות האנרגיה השונות. השאיפה האנרגטית של כל אטום היא להגיע למצב דומה לזה של הגזים האצילים. שאיפה זאת מכונה בכימיה "כלל האוקטט" (Octet Rule), שבדומה לחוק האוקטבה שמו נגזר מהמלה הלטינית OCTO שפירושה 8.

אילו היו בכדור הארץ רק גזים אצילים, לא היו נוצרות כל התרכובות שאותם אנו רואים בטבע, ובמיוחד התרכובות שמרכיבות את עולם החי. מכיוון שרוב האטומים נמצאים במצב של חוסר איזון מבחינת כלל האוקטט, הם "שואפים" להתחבר אחד עם השני על מנת להגיע לאיזון אנרגטי. איזון כזה מתרחש כאשר כלל האוקטט מתממש במלואו ומספר האלקטרונים בקליפת הערכיות של התרכובת מגיע ל- 8.

---

[4] צורך ההסברים על מבנה האטום ועל הקשרים בין האטומים נעזרתי באתר "כימיה בקלות" http://www.easy-chemistry.co.il/

התכונות של קליפת הערכיות באטום מוצגות בטבלה שלהלן.

מבנה קליפת הערכיות					
מספר אלקטרוני ערכיות	**מזווגים**	**לא מזווגים**	**קשרים שיתופיים אפשריים**	**רוצה לתת**	**רוצה לקבל**
1	0	1	1	1	0
2	0	2	2	2	0
3	0	3	3	3	0
4	0	4	4	4	4
5	2	3	3	0	3
6	4	2	2	0	2
7	6	1	1	0	1
8	8	0	0	0	0

כאשר מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות קטן או שווה ל-4, הם מסתדרים מסביב לאטום כאלקטרונים בודדים. אולם כשמספר האלקטרונים בקליפת הערכיות עולה על 4 הם מתחילים להסתדר בזוגות. לפיכך כשמספר האלקטרונים הוא 5 קליפת הערכיות תהיה מורכבת מזוג אלקטרונים ועוד 3 אלקטרונים לא מזווגים; במקביל כשמספר האלקטרונים הוא 6 יהיו בקליפת הערכיות 2 זוגות של אלקטרונים ועוד 2 אלקטרונים לא מזווגים. שאיפתם של האטומים ליצור קשרים אחד עם השני תלויה במספר האלקטרונים הלא מזווגים שיש להם בקליפת הערכיות. מכאן ברור מדוע לגזים האציליים, שלהם יש 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות, "אין עניין" ביצירת קשרים עם אטומים אחרים מכיוון שאין להם אלקטרונים לא מזווגים. ישנם שני סוגי קשרים בין אטומים שקיימים בעולם החי: קשר שיתופי, שנקרא גם קשר קוולנטי (קו (co) – שיתוף; וולנטי (valent) – ערכי; כלומר שיתוף של קליפת הערכיות), וקשר יוני (ישנו גם קשר שלישי שנקרא קשר מתכתי שבו לא נדון, אולם הוא פחות רלוונטי לאטומים שמרכיבים את עולם החי).

בקשר השיתופי האטומים משתפים את האלקטרונים הבלתי מזווגים שלהם, כך שלמולקולה המשותפת יהיו 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות. מספר השיתופים האפשריים עולה עם הגידול במספר האלקטרונים בקליפת הערכיות, עד לערך 4. לאחר מכן פוחת מספר הקשרים האפשריים עד לערך 8 שבו לא נוצרים יותר קשרים שיתופיים. בקשר היוני עוברים אלקטרונים מאטום אחד לאטום שני על מנת להשלים את קליפת הערכיות ל-8. המעבר של האלקטרונים מפר את האיזון החשמלי של האטומים: אטום שאיבד אלקטרונים הופך לבעל מטען חיובי (נקרא קתיון) ואטום שסיפח אליו אלקטרון הופך לבעל מטען שלילי (נקרא אניון). המטענים החשמליים המנוגדים בין האטומים יוצרים כוח משיכה שמחזיק את הקשר היוני. ניתן לראות שהאטומים מתחלקים לשתי קבוצות, עפ"י מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות. אטומים שבהם מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות הוא 1-3 רוצים להיפטר מהאלקטרונים העודפים על מנת להגיע לאיזון בקליפה הקודמת שלהם (בדרך כלל ערכה יהיה 8). אטומים שבהם מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות הוא 5-7 רוצים לספח אליהם אלקטרונים על מנת להשלים את קליפת הערכיות שלהם ל-8. כמו בקשר השיתופי הערך 4 הוא נקודת איזון שבה השאיפה לתת משתווה לשאיפה לקבל.

ד. קשרים בין אטומים בטבע

נדגים כעת כיצד פועל כלל האוקטט בטבע, באמצעות האטומים שמהווים את אבני הבניין של כל יצורים החיים: מימן, פחמן, נתרן וחמצן.

המימן הוא החומר הנפוץ ביותר ביקום. בכדור הארץ הוא מופיע בעיקר כחלק ממולקולת המים (H_2O) שמהווה את המרכיב העיקרי של כל היצורים החיים. אטום המימן מהווה גם חלק בכל התרכובות האורגניות.

הפחמן הוא הבסיס (יחד עם המימן) לכל התרכובות האורגניות שמרכיבות את כל היצורים החיים בכדור הארץ.

החנקן מהווה 78% מהאטמוספרה של כדור הארץ, והוא מרכיב חשוב במולקולות שמרכיבות את החלבונים, שהם אבני הבניין של הגוף החי.

החמצן מהווה 21% מהאטמוספרה שלנו, והוא הבסיס לתהליך הנשימה. כמוכן הוא המרכיב השני (ביחד עם מימן) של מולקולת המים.

ארבעת היסודות הנ"ל מהווים ביחד כ- 96% ממשקל הגוף שלנו, עפ"י הפירוט שלהלן.

חמצן	65%
פחמן	19%
מימן	10%
חנקן	3%
סה"כ	**96%**

בטבלה הבאה מוצגים ארבעת היסודות הנ"ל ונתונים לגבי מבנה האטומים שלהם.

אטום	קוד	מספר אטומי	ערכיות	מזווגים	לא מזווגים
מימן	**H**	1	1	0	1
פחמן	**C**	6	4	0	4
חנקן	**N**	7	5	2	3
חמצן	**O**	8	6	4	2
הליום	**He**	2	2	2	0
נאון	**Ne**	10	8	8	0

הטור **מספר אטומי** מציג את מספר הפרוטונים שיש לכל אטום. כאשר האטום מאוזן מבחינה חשמלית מספר זה שווה גם למספר האלקטרונים שלו. הטור **ערכיות** מציג את מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות של האטום. כך למשל לאטום הפחמן יש 6 אלקטרונים שמסודרים באופן הבא: 2 אלקטרונים בקליפה הפנימית ו- 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות. לאטום החמצן יש 8 אלקטרונים, 2 בקליפה הפנימית ו- 6 בקליפת הערכיות. לשם המחשה מוצגים גם שני גזים אצילים: הליום שיש לו 2 אלקטרונים שממלאים את קליפת הערכיות; ניאון שיש לו 10 אלקטרונים, 2 בקליפה הפנימית ו- 8 בקליפת הערכיות. שני הגזים האצילים נמצאים במצב של איזון מלא, הם אינם שואפים להתחבר עם אף אטום אחר. לעומתם ארבעת האטומים שלפניהם אינם נמצאים באיזון, והשאיפה שלהם לחזור לאיזון באמצעות כלל האוקטט, היא זאת שגורמת להיווצרותן של המולקולות שמהן מורכבים כל היצורים החיים.

נסתכל ראשית על קשרים שיתופיים (קוולנטיים) שהם הנפוצים יותר בין האטומים שמרכיבים את עולם החי. כששני אטומים מתחברים ויוצרים קשר שיתופי, נוצרת חפיפה בין האורביטלים האטומיים שמכילים את אלקטרוני הערכיות, וכתוצאה ממנה נוצרים אורביטלים מולקולריים. אורביטל מולקולרי הוא האזור שבו נמצאים האלקטרונים שמשותפים לשני אטומים או יותר באמצעות קשר כימי.

בעקבות השיתוף בין האטומים השונים, נוצרות מולקולות הן של יסודות (המורכבות מאותו סוג של אטומים) והן של תרכובות (המורכבות מאטומים של יסודות שונים), שרמת האלקטרונים האחרונה שלהם מלאה, בדומה לרמת האלקטרונים של גז אציל שברוב המקרים היא 8 (למעט המקרה החריג של מימן והליום שבהם קליפת הערכיות היא 2). קשרים שיתופיים הם אבני הבניין של החיים ומתקיימת בהם יציבות כימית.

בטבלה הבאה מוצגים מספר הקשרים האפשריים לכל אחד מארבעת האטומים שנזכרו לעיל, בהתאם למספר האלקטרונים הבלתי מזווגים שלהם.

קשרים שיתופיים אפשריים					
אטום	**אפשרויות**	**בודד**	**כפול**	**משולש**	**אלקטרונים לא מזווגים**
מימן	א	1	0	0	1
חמצן	א	2	0	0	2
חמצן	ב	0	1	0	2
חנקן	א	3	0	0	3
חנקן	ב	1	1	0	3
חנקן	ג	0	0	1	3
פחמן	א	4	0	0	4
פחמן	ב	2	1	0	4
פחמן	ג	1	0	1	4
פחמן	ד	0	2	0	4

לאטום המימן יש אלקטרון 1 לא מזווג ולכן הוא יכול ליצור קשר בודד שבו הוא משתף את האלקטרון שלו עם אלקטרון של אטום אחר.
לאטום חמצן יש 2 אלקטרונים לא מזווגים ולכן הוא יכול ליצור שני סוגי קשרים: קשר בודד שבו כל אלקטרון משתתף עם אלקטרון בודד של אטום אחר; קשר כפול שבו הוא משתף זוג אלקטרונים עם זוג אלקטרונים של אטום אחר.
לאטום החנקן יש 3 אלקטרונים לא מזווגים ולכן הוא יכול ליצור שלושה סוגי קשרים: קשר בודד שבו הוא משתף כל אלקטרון עם אלקטרון בודד של אטום אחר; קשר כפול ביחד עם קשר בודד (שיתוף של זוג עם זוג של אטום אחד, ושיתוף של האלקטרון שנותר עם אלקטרון של אטום שני). קשר משולש שבו הוא משתף שלושה אלקטרונים עם שלושה אלקטרונים של אטום אחר.
אטומים אינם יכולים ליצור קשרים שיתופיים שגדולים מקשר משולש. לפיכך אטום הפחמן שלו יש 4 אלקטרונים לא מזווגים יכול ליצור ארבעה סוגי קשרים: 4 קשרים בודדים, 2 קשרים בודדים וקשר כפול אחד, 2 קשרים כפולים וקשר משולש ביחד עם קשר בודד.
נסתכל כעת על מספר דוגמאות של קשרים שיתופיים שנפוצים בטבע.

ד-1) אוויר

כאמור האוויר שאנחנו נושמים מורכב בעקר מחמצן וחנקן, כאשר החמצן הוא היסוד הדומיננטי בגופנו. ראינו כבר שלאטום החמצן ישנם 6 אלקטרונים בקליפת הערכיות ולכן הוא שואף להתחבר עם אטומים אחרים על מנת להגיע לאיזון. החמצן שבאוויר הוא מולקולה שמורכבת משני אטומים של חמצן שמשתפים ביניהם אלקטרונים לצורך הגעה לאיזון.

חמצן באויר	**O_2**			**B**	**A**
אטום	**קוד**	**אלקטרונים משותפים**	**אלקטרונים מזווגים**	**סה"כ אלקטרונים בקליפת ערכיות**	**סך אלקטרונים (כולל שיתוף)**
חמצן	O	2	4	6	8
חמצן	O	2	4	6	8
סה"כ		**4**	**8**	**12**	**16**
				4	**A - B =**

לכל אטום של חמצן ישנם שני אלקטרונים בלתי מזווגים שאותם הוא רוצה לשתף. לפיכך שני האטומים תורמים בסה"כ 4 אלקטרונים משותפים. הקשר השיתופי בין האטומים מאפשר לכל אטום במולקולה להשתמש באלקטרונים המשותפים על מנת להגיע לאיזון. קליפת הערכיות של כל אטום בקשר המשותף

מורכבת מ-8 אלקטרונים: 4 אלקטרונים מזווגים + 4 אלקטרונים משותפים (2 שלו עצמו ועוד 2 של האטום השני). באופן זה מנקודת ראותו של כל אטום יש לו 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות (סה"כ 16 אלקטרונים) בעוד שמספר האלקטרונים הבודדים בשתי קליפות הערכיות של האטומים הוא 12. ההפרש שמוצג בטבלה בסימון A - B הוא בדיוק מספר האלקטרונים המשותפים בקשר.
מולקולת החמצן שמוצגת בתרשים שלהלן היא דוגמה לקשר כפול שבו כל אטום תורם זוג אלקטרונים על מנת ליצור את השיתוף.

מולקולת החמצן – O_2

אלקטרונים מזוגים		אלקטרונים משותפים		אלקטרונים מזוגים
2		2		2
2		2		2
	O		O	

גם החנקן מופיע באוויר כמולקולה שמורכבת משני אטומים. לחנקן יש 5 אלקטרונים בקליפת הערכיות: 2 מזווגים ו-3 לא מזווגים שאותם הוא תורם לשיתוף.

חנקן באוויר	N_2			B	A
אטום	קוד	אלקטרונים משותפים	אלקטרונים מזוגים	סה"כ אלקטרונים בקליפת ערכיות	סך אלקטרונים (כולל שיתוף)
חנקן	N	3	2	5	8
חנקן	N	3	2	5	8
סה"כ		**6**	**4**	10	16
				6	**A - B =**

באמצעות הקשר השיתופי בין יכול כל אטום במולקולה להשתמש ב- 6 אלקטרונים משותפים על מנת להגיע לאיזון. קליפת הערכיות של כל אטום במולקולת החנקן מורכבת מ-8 אלקטרונים: 2 אלקטרונים מזווגים + 6 אלקטרונים משותפים (3 שלו עצמו ועוד 3 של האטום השני). כמו בדוגמה הקודמת כל אטום משתמש ב-8 אלקטרונים לקליפת הערכיות שלו (סה"כ 16 אלקטרונים), בעוד שמספר האלקטרונים הבודדים בשתי קליפות הערכיות של האטומים הוא 10. ההפרש A - B הוא בדיוק מספר האלקטרונים המשותפים בקשר.
מולקולת החנקן שמוצגת בתרשים שלהלן היא דוגמה לקשר משולש שבו כל אטום תורם שלושה אלקטרונים על מנת ליצור את השיתוף.

מולקולת החנקן –N_2

אלקטרונים מזוגים		אלקטרונים משותפים		אלקטרונים מזוגים
2		3		2
		3		
	N		N	

ד-2) מים

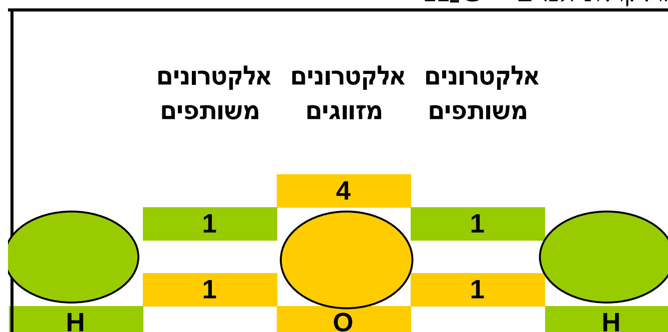
המים הם מולקולה שמורכבת מאטום של חמצן ושני אטומים של מימן. לכל אחד מאטומי המימן יש אלקטרון בודד בקליפת הערכיות. לאטום החמצן יש שני אלקטרונים בלתי מזווגים שאותם הוא רוצה לשתף.

מים	H_2O			B	A
אטום	**קוד**	**אלקטרונים משותפים**	**אלקטרונים מזווגים**	**סה"כ אלקטרונים בקליפת ערכיות**	**סך אלקטרונים (כולל שיתוף)**
מימן	H	1	0	1	2
מימן	H	1	0	1	2
חמצן	O	2	4	6	8
סה"כ		**4**	**4**	**8**	**12**
				4	**A - B =**

לפיכך שני אטומי המימן ואטום החמצן תורמים ביחד 4 אלקטרונים משותפים. כל אחד מאטומי המימן משתמש ב- 2 אלקטרונים מהמאגר המשותף על מנת להגיע לאיזון (נזכיר שהמימן הוא מקרה חריג שבו יש רק קליפת אלקטרונים אחת שמגיעה לאיזון כשהיא מכילה 2 אלקטרונים). אטום החמצן לעומת זאת משתמש בכל המאגר של 4 האלקטרונים המשותפים, ביחד עם 4 האלקטרונים המזווגים שלו על מנת להשלים את קליפת הערכיות שלו ל- 8. אם נסכם את מספר האלקטרונים שנמצאים בשימושו של כל אטום עבור קליפת הערכיות שלו נגיע ל-12 (8 בקליפת הערכיות של אטום החמצן ו- 2 בקליפות הערכיות של כל אחד מאטומי מימן). מספר האלקטרונים הבודדים בקליפות הערכיות של שני אטומי המימן ואטום החמצן הוא 8. גם כאן ההפרש שמסומן ב- A - B הוא בדיוק מספר האלקטרונים המשותפים בקשר.

מולקולת המים שמוצגת בתרשים שלהלן היא דוגמה לשני קשרים בודדים שאטום החמצן יוצר עם שני אטומי מימן על מנת ליצור את השיתוף.

מולקולת המים – H_2O



ד-3) אבני הבניין של עולם החי

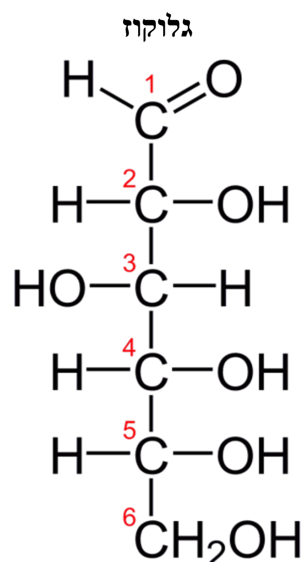
שאיפתם של ארבעת האטומים – מימן, חמצן, נתרן ופחמן – להגיע לאיזון על בסיס כלל האוקטט מביאה ליצירתן של מולקולות גדולות ומורכבות שמהוות את הבסיס לתאים של כל היצורים החיים. להלן נציג שתי דוגמאות. הדוגמה הראשונה היא חומר שנקרא גלוקוז, שהוא חד סוכר פשוט שנוצר בתהליך הפוטוסינתזה שמתרחש בצמחים. מולקולות מהסוג של גלוקוז מהוות את הבסיס לפחמימות (שנקראות גם סוכרים) שהן התרכובות האורגניות הנפוצות ביותר על-פני כדור הארץ, כשהגלוקוז הוא התרכובת האורגנית הנפוצה ביותר. הפחמימות חיוניות לכל היצורים החיים ויש להן תפקידים בעלי חשיבות עליונה בטבע. כמעט כל היצורים החיים מפיקים אנרגיה מפירוק הגלוקוז. כמוכן ה- DNA וה- RNA שמכילים את החומר התורשתי של כל היצורים החיים, מורכבים מחומרים שמכילים סוכרים.

מולקולת הגלוקוז מורכבת מ-6 אטומי פחמן, 6 אטומי חמצן ו-12 אטומי מימן. האלקטרונים שמשתתפים בקשרים השיתופים שקיימים בתוך מולקולת הגלוקוז מוצג בטבלה שלהלן.

גלוקוז	**$C_6H_{12}O_6$**				**B**	**A**	
אטום	**קוד**	**מספר אטומים**	**אלקטרונים משותפים**	**אלקטרונים מזווגים**	**סה"כ אלקטרונים בקליפה ערכית**	**סך אלקטרונים (כולל שיתוף)**	**אלקטרונים לכל אטום (כולל שיתוף)**
פחמן	C	6	24	0	24	48	8
חמצן	O	6	12	24	36	48	8
מימן	H	12	12	0	12	24	2
סה"כ		**24**	**48**	**24**	**72**	**120**	
						48	**A - B =**

לכל אחד מאטומי הפחמן ישנם 4 אלקטרונים לא מזוגים שאותם הוא מוכן לשתף. בסה"כ תורמים ששת אטומי הפחמן 24 אלקטרונים משותפים. במקביל 12 אטומי המימן תורמים 12 אלקטרונים לא מזווגים לטובת השיתוף. לששת אטומי החמצן ישנם 24 אלקטרונים מזווגים והם תורמים 12 אלקטרונים (2 מכל אטום) לקשר המשותף. בסה"כ יש במולקולת הגלוקוז 48 אלקטרונים משותפים (לעומת 72 אלקטרונים שנמצאים בקליפות הערכיות של האטומים הבודדים).

ניתן לראות שכתוצאה מהשיתוף לכל אטומי החמצן והפחמן יהיו 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות שלהם, ואילו לאטומי המימן יהיו 2 אלקטרונים. אולם הקשר בין האטומים הוא מורכב הרבה יותר ומוצג בתרשים שלהלן.



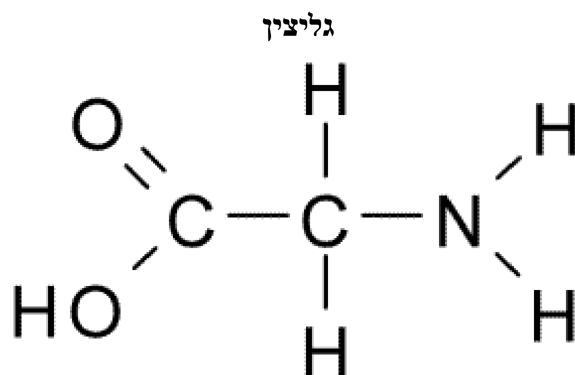
מולקולת הגלוקוז יוצרת למעשה מעין שרשרת שבה אטומי הפחמן מחוברים זה לזה, ובמקביל מחוברים גם לאטומי חמצן ומימן. כל קו בשרטוט מייצג קשר בין אטומים, כאשר קו בודד מייצג קשר בודד וקו

כפול מייצג קשר כפול. אטומי הפחמן שבתוך השרשרת (מסומנים בשרטוט במספרים 2-5) יוצרים מבנה שיתופי שמורכב מחוליות שכוללות אטום פחמן, אטום חמצן ו-2 אטומי מימן.
אטום הפחמן משתף 4 אלקטרונים: 2 עם שני אטומי פחמן נוספים, 1 עם אטום מימן ו-1 עם אטום חמצן. לפיכך יש לכל אטום פחמן בתוך השרשרת 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות שלו.
כמוכן לאטומי המימן שקשורים ישירות עם אטומי הפחמן יש 2 אלקטרונים בקליפת הערכיות.
לאטום החמצן יש 4 אלקטרונים מזווגים, ובנוסף להם הוא משתף אלקטרון אחד עם אטום הפחמן ואלקטרון נוסף עם אטום המימן השני. באופן זה יש גם לאטום החמצן 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות.
הקשרים בקצוות השרשרת שונים במקצת, אך מבוססים על אותו עקרון.
מבנה כזה של מולקולה הוא אפשרי בגלל העובדה שלאטום הפחמן יש 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות.
ראינו כבר ש- 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות מהווים נקודת מעבר בין שני מצבים.
עד רמת האנרגיה של 4 אלקטרונים לא נוצרים זיווגים בין האלקטרונים, ואילו מעליה נוצרים אלקטרונים מזווגים. לפיכך כאשר יש 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות מספר הקשרים שאטום יכול ליצור הוא מרבי. בנוסף לכך אטומים שיש להם פחות מ- 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות רוצים להיפטר מאלקטרונים אלה, על מנת להגיע לאיזון. במקביל אטומים שיש להם יותר מ- 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות רוצים להשלים את מספר האלקטרונים ל-8 על מנת להגיע לאיזון. כיוון שלאטום הפחמן יש 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות, הוא מהווה אבן הבניין של המולקולות הארוכות והמורכבות שמהם בנויים כל היצורים החיים.
דוגמה נוספת למבנה מורכב שמבוסס על אטום הפחמן הן חומצות האמינו שמרכיבות את החלבונים - תרכובות חשובות שמצויות בכל תא חי. החלבונים חיוניים לבניית השרירים וליצירת הורמונים, נוגדנים ואנזימים בגוף האדם. חומצות האמינו הן תרכובות אורגניות שמהוות את יחידות המבנה הבסיסיות של החלבונים. כל החלבונים הקיימים בכל האורגניזמים מורכבים מכ- 20 חומצות אמינו סטנדרטיות.
בדוגמה שלהלן מוצג הגליצין שהוא חומצת האמינו הפשוטה ביותר.

גליצין	**$C_2H_5NO_2$**				**B**	**A**	
אטום	**קוד**	**מספר אטומים**	**אלקטרונים משותפים**	**אלקטרונים מזווגים**	**סה"כ אלקטרונים בקליפת ערכיות**	**סך אלקטרונים (כולל שיתוף)**	**אלקטרונים לכל אטום (כולל שיתוף)**
פחמן	C	2	8	0	8	16	8
חנקן	N	1	3	2	5	8	8
חמצן	O	2	4	8	12	16	8
מימן	H	5	5	0	5	10	2
סה"כ		**10**	**20**	**10**	**30**	**50**	
						20	**A - B =**

ההבדל בין חומצות האמינו לפחמימות הוא שהן כוללות אטום של חנקן בנוסף לאטומים של פחמן, חמצן ומימן. הגליצין לדוגמה מורכב מאטום אחד של חנקן, 2 אטומי פחמן, 2 אטומי חמצן ו- 5 אטומי מימן.
התרשים שלהלן ממחיש את מבנה המולקולה.

גליצין



אטום החנקן משתף 3 אלקטרונים בלתי מזווגים בנוסף ל- 2 אטומים מזווגים שנמצאים בקליפת הערכיות שלו, ולפיכך יש לו 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות. מבנה השיתוף בין אטומי הפחמן לאטומי החמצן והמימן דומה לזה שראינו כבר במולקולת הגלוקוז. בסה"כ, כפי שממחישה הטבלה, יש 20 אלקטרונים משותפים (לעומת 30 אלקטרונים שנמצאים בקליפות הערכיות של האטומים הבודדים), שמאפשרים לאטמי הפחמן, החמצן והנתרן להגיע לאיזון עם 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות.
בדומה לפחמימות גם חומצות האמינו יוצרות שרשרות מורכבות של מולקולות שבנינן מתאפשר תודות לכך שאטומי הפחמן, בעלי 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות, יכולים ליצור מספר רב של קשרים.

ד-4) מלחים

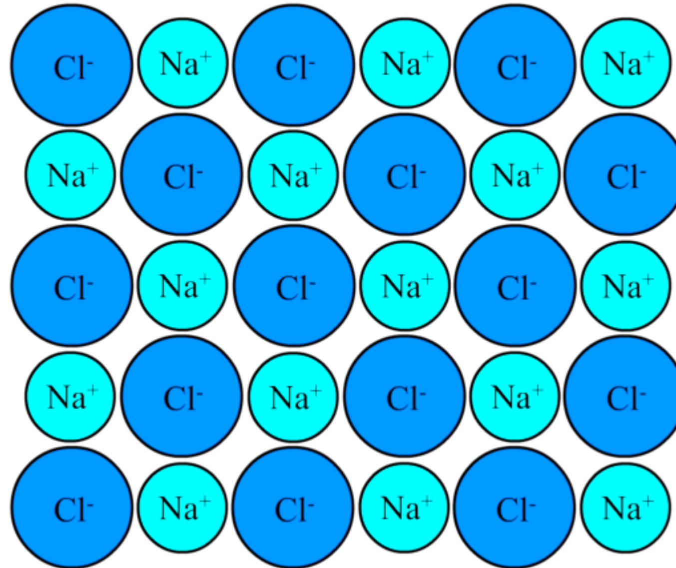
כפי שהראינו הקשר השיתופי בין האטומים הוא הגורם העיקרי ליצירת אבני הבניין של עולם החי. בנוסף לכך קיים גם קשר יוני שמהווה בסיס ליצירתם של מלחים. נציג להלן דוגמא להיווצרותו של מלח הבישול שגם הוא מהווה מרכיב מרכזי על פני כדור הארץ (מי ים) ונמצא גם ביצורים חיים.
מלח הבישול ששמו הכימי הוא נתרן כלורי, מורכב מאטום אחד של נתרן (Na) ואטום אחד של כלור (Cl).
לנתרן יש 11 אלקטרונים שמסודרים באופן הבא: 2 אלקטרונים בקליפה הראשונה, 8 אלקטרונים בקליפה השנייה ואלקטרון אחד בקליפת הערכיות.
לכלור יש 17 אלקטרונים שמסודרים באופן הבא: 2 אלקטרונים בקליפה הראשונה, 8 אלקטרונים בקליפה השנייה ו- 7 אלקטרונים בקליפת הערכיות.

נתרן כלורי (מלח בישול)		**NaCl**
מצב מקורי	**Na**	**Cl**
מספר אלקטרונים	**11**	**17**
קליפה ראשונה	2	2
קליפה שניה	8	8
קליפה שלישית	1	7
מטען חשמלי	**0**	**0**
קשר יוני	**Na**	**Cl**
מספר אלקטרונים	**10**	**18**
קליפה ראשונה	2	2
קליפה שניה	8	8
קליפה שלישית	0	8
מטען חשמלי	**+**	**-**

למרות ששני האטומים מאוזנים מבחינה חשמלית, הם שואפים לשינוי. הנתרן שואף להיפטר מהאלקטרון הבודד שלו בקליפת הערכיות, וכך להגיע לאיזון כשהקליפה השנייה תהפוך לקליפת הערכיות עם 8 אלקטרונים. הכלור לעומתו שואף לספח אליו אלקטרון נוסף על מנת להשלים את קליפת הערכיות שלו ל- 8 אלקטרונים. מסתבר שהשאיפה לאיזון של קליפת הערכיות ל- 8 אלקטרונים, חזקה יותר מהכוחות ששומרים על האיזון החשמלי של האטום. אלקטרון אחד מאטום הנתרן עובר לאטום הכלור וכך נוצר איזון על פי כלל האוקטט.
אולם כתוצאה ממעבר זה האטומים כבר אינם מאוזנים מבחינה חשמלית. לנתרן שאיבד אלקטרון יש מטען חיובי, והוא הופך ליון חיובי שנקרא קטיון. במקביל לכלור שקבל אלקטרון יש מטען שלילי, והוא הופך ליון שלילי שנקרא אניון. המטענים החשמליים המנוגדים של שני האטומים יוצרים כוח משיכה ביניהם שקושר אותם ביחד.

התוצאה של הקשר היוני מוצגת בתרשים שלהלן.

מלח בישול – נתרן כלורי



הכוחות החשמליים שמושכים את האטומים גורמים להם להסתדר במבנה אחיד שמכונה סריג יוני. הקשר היוני מאפיין את המלחים השונים שנמצאים בטבע.

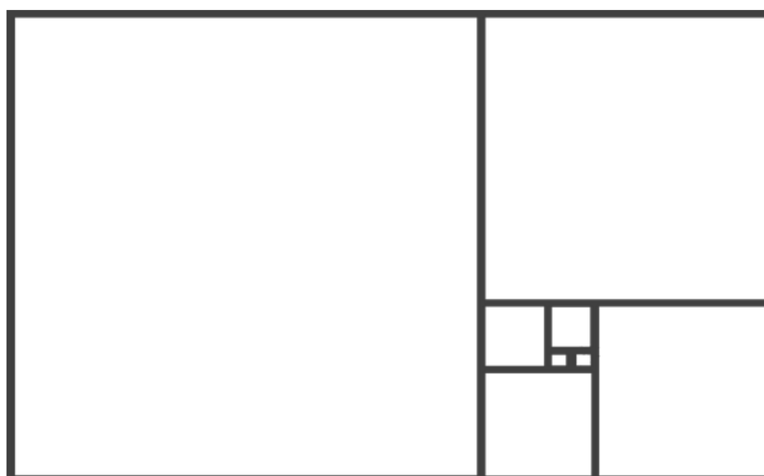
לסיכום ניתן לראות שכלל האוקטט, שמבטא את חוק האוקטבה בחלקיקים הבסיסיים שמרכיבים את החומר, הוא הכוח המניע שמביא ליצירתן של מולקולות. כתוצאה מכלל האוקטט חל בטבע תהליך של התפתחות מאטומים בודדים למולקולות מורכבות. התפתחות זאת היא תוצאה ישירה של "השאיפה" של כל אטום להגיע לאיזון.

ה. חוק האוקטבה ויחס הזהב

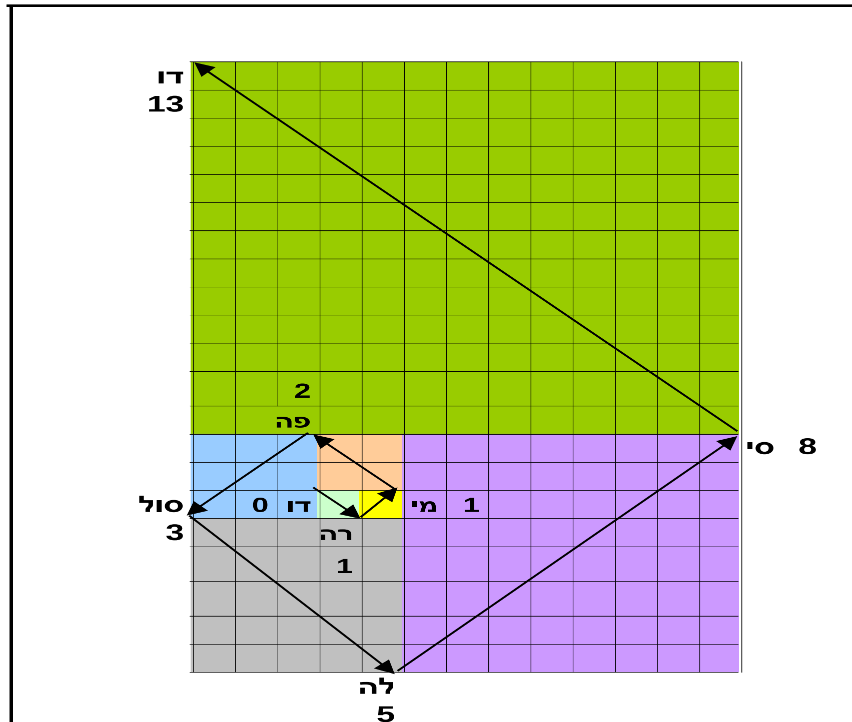
ביטוי נוסף לחוק האוקטבה ניתן למצוא בגודל מתמטי שנקרא "יחס הזהב". יחס הזהב הוא מספר אי-רציונלי ששווה בקירוב ל- 1.618. את יחס הזהב ניתן לגזור מסדרה מתמטית שנקראת סדרת פיבונצ'י. והיא מוצגת בטבלה שלהלן.

סדרת פיבונצ'י	יחס הזהב
0	
1	
1	1.0000
2	2.0000
3	1.5000
5	1.6667
8	1.6000
13	1.6250
21	1.6154
34	1.6190
55	1.6176
89	1.6182
144	1.6180
233	1.6181
377	**1.6180**

בסדרת פיבונצ'י כל איבר הוא הסכום של שני המספרים שלפניו (למעט שני האברים הראשונים 0 ו-1). בניית הסדרה היא פשוטה מאוד: האיבר השלישי הוא 1 (הסכום של 0 ו-1), האיבר הרביעי הוא 2 (הסכום של 1 ו-1), האיבר החמישי הוא 3 (הסכום של 2 ו-1) וכך הלאה.
אחת התכונות של סדרת פיבונצ'י היא שהיחס בין כל שני איברים עוקבים מתכנס ליחס הזהב. כך למשל היחס בין 34 ל- 21 הוא 1.619, היחס בין 55 ל- 34 הוא 1.6176 והיחס בין 89 ל-55 הוא 1.6182.
ככל שאברי הסדרה גדלים היחס בין שני אברים עוקבים מתקרב ליחס הזהב.
את יחס הזהב אנו יכולים ראות בטבע אם נציג את סדרת פיבונצ'י באמצעות ריבועים שאורך הצלע שלהם שווה לערך הסדרה, כדוגמת לכך התרשים שלהלן.



חיבור הריבועים יוצר מלבן שהיחס בין צלעותיו הוא היחס בין האברים שבסדרת פיבונצ'י. לפיכך ככל שנגדיל את מספר הריבועים היחס בין צלעות של המלבן שייווצר יתכנס ליחס הזהב. בתרשים שלעיל אורך הבסיס של המלבן הוא 34 ואורך הגובה שלו הוא 21. לפיכך היחס ביניהם הוא 1.619.
באמצעות התרשים שלעיל ניתן ליצור תבנית של ספירלה שמוצגת בתרשים שלהלן.



הספירלה נוצרת באמצעות תנועה לאורך אלכסוני הריבועים. בדוגמה שלהלן אנו משתמשים בקווים ישרים אולם ניתן ליצור את הספירלה גם אם נשרטט קשת במקום כל אלכסון, כפי שמוצג בתרשים שלהלן.



מסתבר שבאמצעות סדרת פיבונצ'י ניתן להגיע בדרך מתמטית לספירלה שהיא צורה שנפוצה מאוד בטבע כפי שנראה בהמשך. אולם לפני כן עלינו עדיין להראות כיצד בא לידי ביטוי חוק האוקטבה בסדרת פיבונצ'י. לשם כך נשתמש בתרשים הקודם שבו הספירלה נוצרה ע"י קוים ישרים שמייצגים את אלכסוני הריבועים. כל קו כזה מסומן בחץ שחור שמצביע על כיוון ההתפתחות של הספירלה – מבפנים החוצה. ליד כל חץ מופיעים בתרשים ערכי האברים המתאימים של סדרת פיבונצ'י וכן סדר הערכים על פי האוקטבה. כך למשל האיבר הראשון בסדרה הוא 0 והוא יופיע בבסיס החץ הראשון, כשהוא מקביל לתו הראשון דו. האיבר השני – 1 יופיע בבסיס החץ השני והוא מקביל לתו השני רה. נתוני התרשים מוצגים גם בטבלה שלהלן.

תו	איבר	כיוון החץ
דו	0	
		דרום-מזרח
רה	1	
		צפון -מזרח
מי	1	
		צפון-מערב
פה	2	
		דרום-מערב
סול	3	
		דרום-מזרח
לה	5	
		צפון- מזרח
סי	8	
		צפון-מערב
דו	13	

הטור השמאלי של הטבלה מציג את כיוון החץ שהוא למעשה כיוונה של הספירלה. בדוגמה שלנו כיוונו של החץ הראשון הוא לדרום- מזרח והוא מחבר בין התו דו לתו רה (או בין איבר 0 לאיבר 1). ניתן לראות שהחץ משנה את כיוונו בכל מעבר בין שני אברים, וכך למעשה נוצרת צורת הספירלה. ישנם שני מעברים שבהם כיוון החץ הוא בדיוק הפוך מהכיוון ההתחלתי – כלומר הוא פונה לצפון מערב. המעבר הראשון הוא בין התו מי לתו פה (או בין האיבר 1 לאיבר 2) והמעבר השני הוא בין התו סי לתו דו (או בין איבר 8 לאיבר 13). אנו רואים אפוא שהספירלה שנוצרת ע"י סדרת פיבונצ'י (יחס הזהב) מתנהגת לפי חוק האוקטבה. שני המעברים שבהם הספירלה מחליפה כיוון מקבילים למעברים הלא רציפים בין התווים מי לפה וסי לדו.

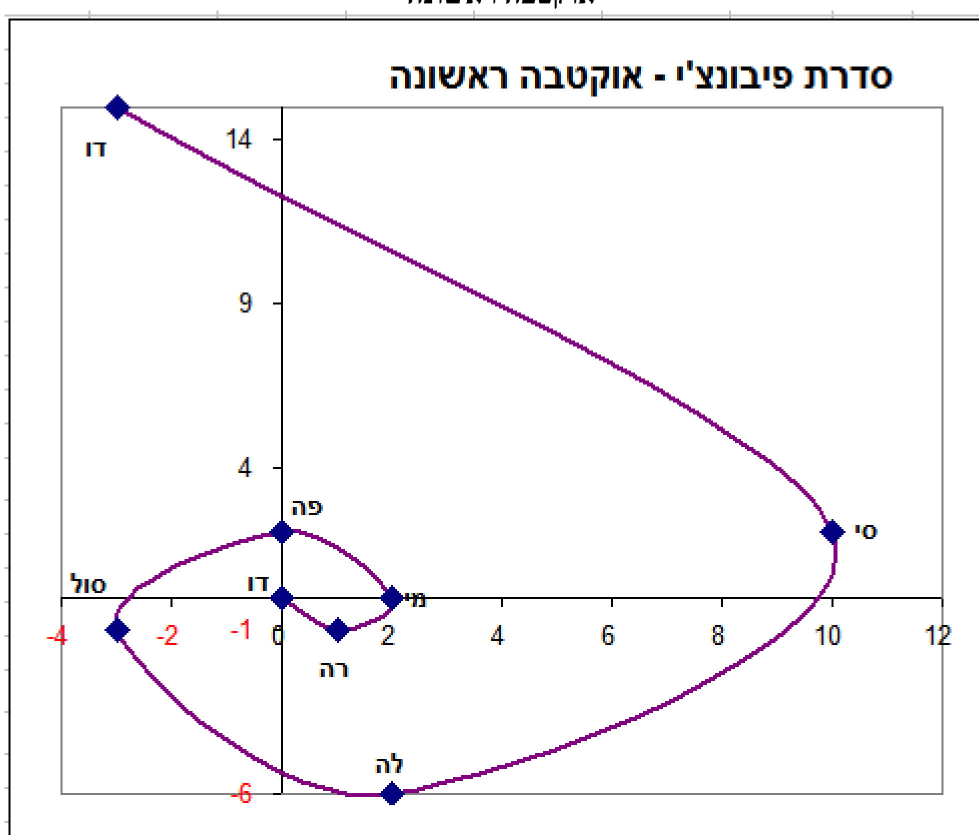
הקשר בין ספירלת פיבונצ'י לחוק האוקטבה איננו תלוי בכיוון ההתחלתי של הספירלה, ומתקיים למעשה לכל אורכה. על מנת להראות זאת נציג להלן ספירלה שמשתרעת על פני שתי אוקטבות (כלומר על פני 15 האברים הראשונים של סדרת פיבונצ'י). על מנת לעשות זאת יש צורך לתרגם את ספירל פיבונצ'י לערכי X ו- Y במערכת צירים רגילה. שיטת התרגום מוצגת בטבלה שלהלן.

תו	ערך ציר X	ערך ציר Y	סדרת פיבונצ'י	משתנה עזר X	משתנה עזר Y	כיוון הספירלה X	Y
דו	0	0	0				
רה	1	-1	1	1	-1	E	S
מי	2	0	1	1	1	E	N
פה	0	2	2	-1	1	W	N
סול	-3	-1	3	-1	-1	W	S
לה	2	-6	5	1	-1	E	S
סי	10	2	8	1	1	E	N
דו	-3	15	13	-1	1	W	N
רה	-24	-6	21	-1	-1	W	S
מי	10	-40	34	1	-1	E	S
פה	65	15	55	1	1	E	N
סול	-24	104	89	-1	1	W	N
לה	-168	-40	144	-1	-1	W	S
סי	65	-273	233	1	-1	E	S
דו	442	104	377	1	1	E	N

התרגום של סדרת פיבונצ'י לערכי X ו-Y שייצרו ספירלה נעשה באמצעות משתני עזר לכל אחד מהצירים. כל משתנה עזר מורכב מצמדים של 1 ו-1- ולאחר מכן (1-) ו- (1-) וחוזר חלילה. משתנה העזר

ל-X מתחיל בערך 1 בעוד שמשתנה העזר ל-Y מתחיל בערך (-1). כל ערך של X ו-Y שווה לערך הקודם ועוד המכפלה של משתנה העזר באיבר פיבונצ'י המתאים.
לדוגמה:
ערך ה-X שמקביל לתו פה באוקטבה הראשונה הוא 0. הוא מתקבל באמצעות הערך הקודם (של התו מי) שהוא 2 ועוד משתנה העזר (-1) כפול אבר פיבונצ'י המתאים (2).
במקביל ערך ה-Y שמקביל לתו פה באוקטבה הראשונה הוא 2, והוא מתקבל באמצעות הערך הקודם שהוא 0 ועוד משתנה העזר (1) כפול אבר פיבונצ'י המתאים (2).
ערך ה-X שמקביל לתו פה באוקטבה השנייה הוא 65. הוא מתקבל באמצעות הערך הקודם (של התו מי) שהוא 10 ועוד משתנה העזר (1) כפול אבר פיבונצ'י המתאים (55).
במקביל ערך ה-Y שמקביל לתו פה באוקטבה השנייה הוא 15, והוא מתקבל באמצעות הערך הקודם שהוא -40 ועוד משתנה העזר (1) כפול אבר פיבונצ'י המתאים (55).
באופן זה ניתן ליצור ערכי X ו-Y שהשרטוט שלהם על פני מערכת צירים ייתרן לנו את ספירלת פיבונצ'י. בתרשים שלהלן מוצג שרטוט של האוקטבה הראשונה.

אוקטבה ראשונה



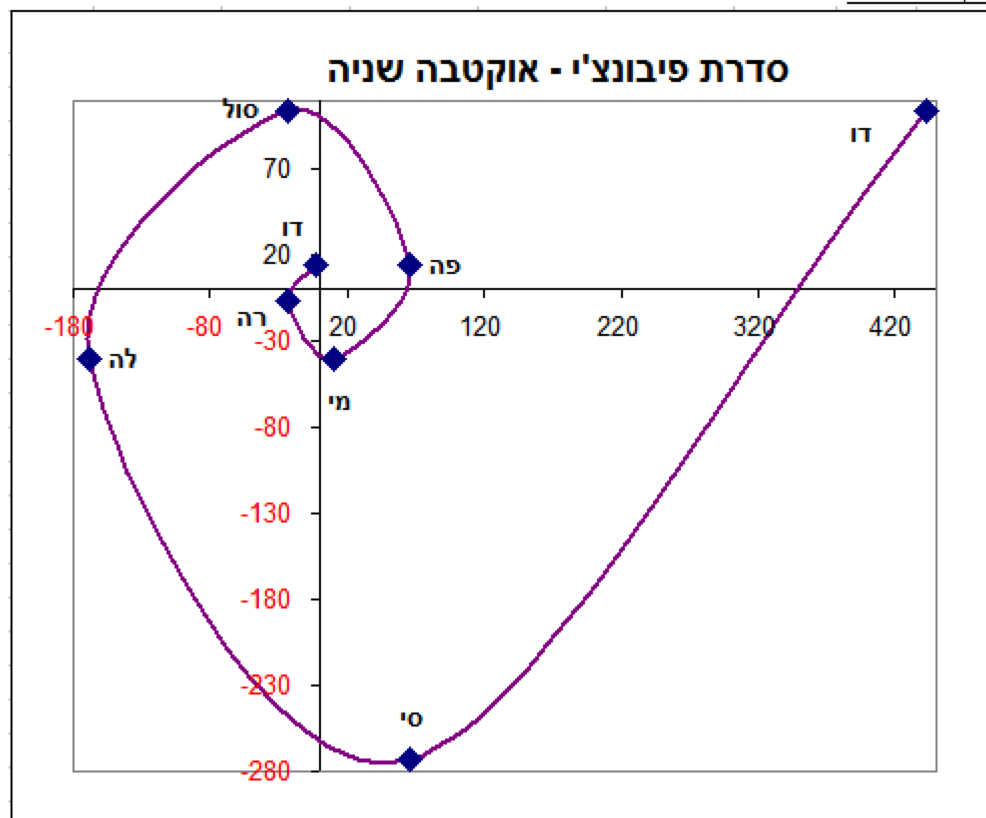
ליד כל אחת מהנקודות מסומן גם התו המתאים לה. הספירלה בתרשים זה זהה בעקרון לספירלה הסכמטית שהוצגה קודם, שנוצרה על ידי החיצים שהועברו דרך אלכסוני הריבועים של חתך הזהב. כיוון הספירלה במקטעים השונים שלה מוצג בטבלה הבאה והוא זהה לכיוונים שראינו בתרשים הקודם.
הספירלה מתחילה מהנקודה 0,0 לכיוון דרום מזרח.

תו	איבר בסדרה	כיוון הספירלה	
דו	0		
רה	1	E	S
מי	1	E	N
פה	2	W	N
סול	3	W	S
לה	5	E	S
סי	8	E	N
דו	13	W	N

כמו בדוגמה הקודמת הספירלה הופכת את כיוונה ביחס לכיוון ההתחלתי פעמיים: בין התווים מי לפה ובין התווים סי לדו.

התרשים הבא מציג את ספירלה שנוצרה באוקטבה השנייה. ספירלה זו מתחילה באבר 13 בסדרת פיבונצ'י ומסתיימת באיבר 377 (ראו טבלה מתחת לתרשים).

אוקטבה שנייה



תו	איבר בסדרה	כיוון הספירלה	
דו	13		
רה	21	W	S
מי	34	E	S
פה	55	E	N
סול	89	W	N
לה	144	W	S
סי	233	E	S
דו	377	E	N

הספירלה של האוקטבה השנייה מתחילה לכיוון דרום-מערב, וגם היא הופכת את כיוונה ביחס לכיוון ההתחלתי פעמיים: בין התווים מי לפה ובין התווים סי לדו. ניתן לראות שהפיכת הכיוון ביחס לכיוון המקורי עפ"י חוק האוקטבה איננה תלויה בכיוון ההתחלתי של הספירלה, אלא היא תכונה של ספירלת פיבונצ'י.

אפשר לראות בספירלת פיבונצ'י ביטוי גרפי לחוק האוקטבה. חוק האוקטבה אמנם מבטא מחזוריות, מכיוון שבכל אוקטבה התווים חוזרים על עצמם. אולם זו איננה מחזוריות מעגלית, מכיוון שלכל תו יש תדר גבוה יותר מזה שלפניו, עד שמתחילה אוקטבה חדשה שבה התדר מוכפל. הספירלה מבטאת באופן גרפי את התכונות האלה. מצד אחד יש בה מחזוריות בגלל התנועה המעגלית, אולם כל מעגל גדול יותר מזה שלפניו.

העניין בספירלות פיבונצ'י איננו מתמטי בלבד, מכיוון שספירלות כאלה נפוצות מאוד בטבע[5].
להלן נציג מספר דוגמאות:

בעולם החי ניתן לראות ספירלות פיבונצ'י בתבניות ההתפתחות של שבלולים וקונכיות.



ניתן לראות כיצד הקונכייה מתפתחת מבפנים החוצה בצורת ספירלה.

[5] התמונות שלהלן נלקחו בחלקן מהאתר החופשי Pixabay, ובחלקן צולמו ע"י המחבר.

בעולם הצומח התפתחות של עלים בצמחים היא לעתים קרובות מאוד בצורת ספירלה, כפי שממחישות שתי התמונות הבאות.



העלים צומחים מבפנים החוצה ויוצרים ספירלה שהולכת וגדלה. תבניות דומות ניתן למצוא גם בהתפתחות של זרעים בתוך פרחים וכן בהתפתחות של עלי כותרת. באופן כמעט קבוע אנו רואים צמיחה מבפנים החוצה בצורה של ספירלה. מדענים טוענים שהצורה הספירלית מתפתחת בטבע מכיוון שהיא מספקת את היעילות האנרגטית הגבוהה ביותר[6].
סופות באטמוספרה גם הן מתפתחות בצורה של ספירלת פיבונצ'י, כמי שממחיש צילום האוויר של ההוריקן קטרינה.



[6] הרחבה בנושא זה נמצאת בכתבה שלהלן http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3407034,00.html

גם גלקסיית שביל החלב, שבה נמצאת מערכת השמש שלנו, בנויה כספירלת פיבונצ'י.



יואב ויזל – פרופסור לבוטניקה באוניברסיטת תל אביב – מתייחס לחוקיות שבאה לידי ביטוי בצורת הספירלה במאמר שהתפרסם במגזין "מחשבות"[7]:

"דוגמה נוספת לאחידות ולקביעות של צורות היסוד של החיים היא צורת הסליל. סליליות בצמחים מתבטאת בגדילי הדנ"א, בהשקעת אגדי מולקולות התאית (פיברילות) בדופן התא, בסידור תאי הגבעול, בסידור העלים לאורך הציר, בסידור הפרחים בתפרחת, באתרי יציאת השורשים הצדדיים בשורשים ועוד. סליליות פירושה חוקיות. לפיכך, הכרת מקומם של שלושת הפרחים הראשונים בתפרחת של חמנית והכרת החוקיות של הסליל בצמח זה מאפשרת חיזוי מדויק של מקומם של שאר הפרחים."

לסיכום ההתפתחות של צורות רבות בטבע בתבנית של ספירלה מבטאת חוקיות שניתן לתאר אותה בצורה גיאומטרית באמצעות "יחס הזהב", ובצורה מתמטית באמצעות סדרת פיבונצ'י. המבנה הייחודי של צורת הספירלה מבטא את חוק האוקטבה שבא לידי ביטוי בנקודות המפנה שלה.

---

[7] יואב ויזל, " ואולי בכל זאת יש סדר בטבע", מחשבות 68, ספטמבר 1996.

ו. אבולוציה והתפתחות החיים

אחד החוקים הבסיסיים של הטבע נקרא החוק השני של התרמודינמיקה. חוק זה קובע שמידת אי הסדר (אנטרופיה) שקיימת בכל מערכת איננה יכולה לקטון, אלא רק לגדול. בחיי היומיום אנו רואים את החוק הזה בפעולה כל הזמן: כוס קפה חמה שתונח על השולחן תתקרר לאחר זמן; בית שלא מנקים אותו יהפוך למלוכלך עם הזמן. למעשה כל דבר מתקדם באופן טבעי ממצב של סדר למצב של אי-סדר. אם נרצה להקטין את אי-הסדר במערכת מסוימת, כלומר להקטין את האנטרופיה שלה, נצטרך להשקיע אנרגיה. הפיזיקאי הנודע סטיבן הוקינג כתב בספרו "קיצור תולדות הזמן" שעליית אי הסדר (האנטרופיה) עם הזמן היא למעשה דוגמא למה שקרוי חץ הזמן, הכיוון שמבדיל בין העבר לעתיד.

אולם במקביל לאנטרופיה אנו רואים בטבע גם תופעה הפוכה. קיים תהליך של התפתחות של מערכות בעלות סדר ומורכבות שהולכים וגדלים לאורך זמן. התפתחות החיים על כדור הארץ היא דוגמא לכך. המרכיבים את כל היצורים החיים הן מולקולות גדולות ומורכבות שלא היו קיימות על פני כדור הארץ כאשר הוא נוצר. מולקולות אלו התפתחו בתהליך הדרגתי והפכו למורכבות יותר ויותר, ובכך אפשרו את היווצרותם של יצורים חיים בעלי תפקודים מורכבים.

השאלה כיצד התפתחו החיים היא מוקד לויכוח בין מדענים, פילוסופים ואנשי דת. במוקד הויכוח נמצאת תורת האבולוציה שאותה הציג צ'רלס דרווין בספר "מוצא המינים" שהתפרסם ב- 1859. דרווין טען שכל צורות החיים התפתחו בהדרגה מצורות פשוטות יותר, באמצעות שילוב של מוטציות גנטיות אקראיות ומנגנון של ברירה טבעית שנובע מכך שרק המוטציות שמתאימות יותר לסביבתן שורדות. רוב המדענים מסכימים עם החלק הראשון של טענתו של דרווין קרי: שכל צורת חיים מורכבת התפתחה בהדרגה מצורת חיים פשוטה יותר. במובן זה האבות (או האמהות) הקדמונים של כל צורות החיים הם תאים פרוקריוטים (כלומר תאים חסרי גרעין) שנוצרו על פני כדור הארץ לפני כ- 4 מיליארד שנים. תורת האבולוציה מציגה עדויות רבות שממחישות כיצד התפתחו צורות חיים מורכבות מאותם תאים פרוקריוטים, שהם היצורים החיים הראשונים. הויכוח לגבי תורת האבולוציה איננו לגבי השאלה האם הייתה אבולוציה, אלא לגבי השאלה מה מניע את האבולוציה. ההסבר המקובל בעולם המדעי הוא שהאבולוציה היא תוצאה של מוטציות גנטיות מקריות ש"נבררות" באופן עיוור ע"י מנגנון הברירה הטבעית. כלומר אין גורם כלשהו שמוביל את תהליך האבולוציה, אלא היא קורית באופן עיוור כתוצאה מכך שהברירה הטבעית גורמת לכך שהגנים שמותאמים באופן המיטבי ביותר לתנאי הסביבה שורדים, בעוד שהגנים שמותאמים פחות נעלמים בסופו של דבר. הביולוג הבריטי ריצ'רד דוקינס, שהוא אחד הטוענים הבולטים של גישה זו, נתן לספרו המפורסם שעוסק בתורת האבולוציה של דרווין את הכותרת "השען העיוור"[8]. ההסבר האלטרנטיבי לאבולוציה, שמועלה בעיקר ע"י מדענים נוצריים, הוא שקיים "תכנון תבוני" שמכוון את תהליך האבולוציה. עפ"י הסבר זה האבולוציה איננה תוצאה של מוטציות אקראיות, אלא של תכנון שנובע מאינטליגנציה גבוהה, שמזוהה בדרך כלל עם אלוהים התנ"כי. אחד הטיעונים שמועלים בזכות ההסבר של תכנון תבוני הוא שכאשר אנו רואים מנגנון מכני מורכב כמו שעון, אנו חייבים להניח שקיים שען שיצר אותו מכיוון שמערכת מורכבת חייבת להיווצר ע"י משהו בעל מורכבות גדולה יותר. ספרו של דוקינס – "השען העיוור" - מסביר כיצד מנגנונים מורכבים בטבע יכולים להיווצר באמצעות מוטציות גנטיות אקראיות שמוכוונות רק ע"י התהליך העיוור של הברירה הטבעית. הויכוח בין שני הצדדים הוא לוהט ומגיע פעמים רבות גם למדיה, אולם במובן מסוים הוא עקר. הסיבה לכך היא שהעדויות שקיימות לגבי תהליך האבולוציה יכולות לתמוך בשני ההסברים. ניתן להראות כיצד מוטציות גנטיות מקריות ביחד עם מנגנון הברירה הטבעית יכולים להסביר כל תופעה בעולם החי. כתוצאה מכך רוב המדענים מעדיפים לקבל את ההסבר האקראי על פני ההסבר האלטרנטיבי של תכנון תבוני. אולם חשוב לזכור שמדובר בהעדפה בלבד, מכיוון שגם תכנון תבוני יכול להסביר את התופעות שנצפות בטבע.

הסיפור הידוע על המפגש בין הפיזיקאי הצרפתי פייר סימון לפלס לקיסר נפוליאון ממחיש נקודה זו. לפלס ביקש למסור לידיו של הקיסר את ספרו על הפיזיקה של מערכת השמש – אחד מהישגי המדע הגדולים של ראשית המאה התשע-עשרה. נפוליאון אמר לו: "אמרו לי שבספרך אלוהים אינו מופיע אף פעם". על כך ענה לפלס: "אינני זקוק להנחה זו"[9]. המדע ככלל מעדיף הסבר שאיננו כולל מציאות רוחנית, על הסבר שבו יש מקום למציאות רוחנית, למרות שהממצאים יכולים לתמוך בשני ההסברים.

---

[8] ריצ'רד דוקינס, "השען העיוור", תרגם עמנואל לוטם, הוצאת זמורה ביתן, תל אביב, 1986 (1993),

[9] מקור המובאה: מיכה אנקורי, "הפסיכואנליזה מגלה את אחוריו של אלוהים", מעגלי קריאה - עיון ומחקר בספרות, אוניברסיטת חיפה, נובמבר 2007.

אולם מעבר לכך, גם ההסבר המקובל לאבולוציה שמבוסס על מוטציות גנטיות אקראיות, כפוף למגבלות של חוקי הטבע. שום אבולוציה או כל תהליך אחר בטבע לא היו אפשריים ללא קיומם של הכוחות הגרעיניים (החזק והחלש) שמאפשרים את היווצרות גרעין האטום, של הכוח האלקטרומגנטי שמאפשר את היווצרות האטום וכן את קיומה של האנרגיה חשמלית ואנרגית האור ואת קיומו של כוח הכבידה, שמאפשר את היווצרותם של שמשות וכוכבי לכת. למעשה ההסבר המדעי המקובל של אבולוציה אקראית, צריך להיות מסויג. האקראיות תחומה בתוך גבולות מסוימים שנקבעים ע"י חוקי הטבע. השאלה מהו מקורם של חוקי הטבע וכיצד הם נקבעו נמצאת מחוץ לתחום של הדיון המדעי.

בנוסף לחוקי הטבע מוגבלת האקראיות של תהליך האבולוציה גם ע"י קבועים פיזיקליים שערכם מחושב באמצעות מדידה אמפירית. להלן אציג שתי דוגמאות לקבועים כאלה.

בשלבים המוקדמים מאוד של היווצרות היקום הוא היה מורכב רק מגרעינים של היסוד הפשוט ביותר מימן. כזכור גרעין של אטום מימן מכיל רק פרוטון אחד, ולכן הוא החומר הפשוט ביותר שקיים. במקביל לגרעין של אטום המימן הרגיל התחילו להיווצר ביקום הצעיר גם גרעיני מימן נוספים שהכילו בנוסף לפרוטון גם ניטרון. כזכור הניטרון איננו משנה את מטענו של החומר ולכן גרעין כזה הוא עדיין מימן, אולם הוא מכונה איזוטופ מכיוון שהמסה שלו שונה מגרעין של אטום מימן רגיל. אטום של מימן שמכיל גם ניטרון נקרא דאוטריום.

למעשה כל היסודות שנוצרו לאחר מכן ביקום מבוססים על התחברות של גרעיני דאוטריום בינם לבין עצמם על מנת ליצור גרעינים מורכבים יותר. הגרעין הראשון שנוצר הוא ההליום שמכיל 2 פרוטונים ו-2 ניטרונים. גרעין ההליום נוצר כתוצאה מהתנגשות של שני גרעינים של דאוטריום, שכתוצאה ממנה הם מתאחדים לגרעין חדש. מסתבר שבמהלך התנגשות כזאת חלק מהמסה של הגרעינים שמתנגשים איננה עוברת לגרעין החדש, אלא משתחררת כאנרגיה. למעשה המסה של גרעין של הליום היא בדיוק 99.3% מהמסה של שני גרעיני דאוטריום שנדרשים על מנת ליצור אותו.[10] היתרה 0.7% נפלטת כאנרגיית חום ואור לסביבה. תהליך דומה מתרחש עד היום בליבת השמש, כאשר זוגות של גרעיני דאוטריום מתמזגים בתהליך של היתוך גרעיני לגרעין של הליום. כל אנרגיית החום והאור שהשמש מפיקה נובעת מאותו הפרש של 0.7% בין התוצר הסופי (גרעין ההליום) לגורמים שיוצרים אותו (גרעיני הדאוטריום).

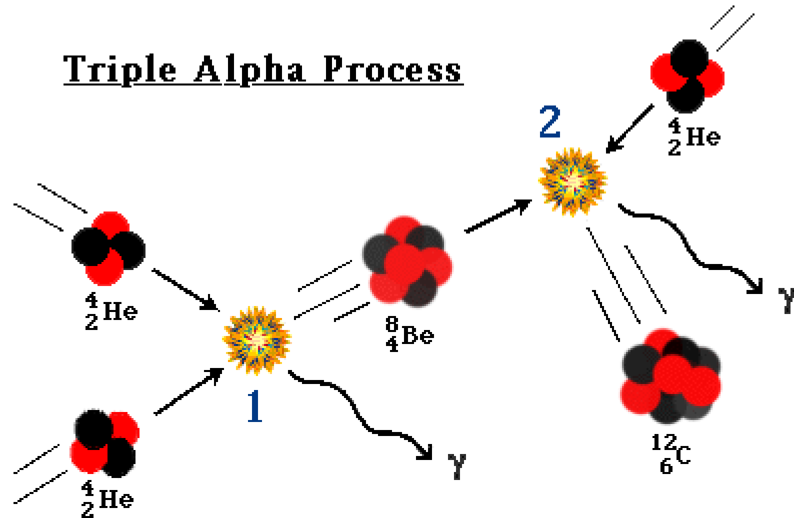
מה היה קורה אילו מספרים אלה היו שונים? מסתבר שכל הקיום שלנו תלוי בדיוק של אותם מספרים. אילו ההפרש היה עומד על 0.6% לא היה נוצר חיבור בין גרעיני הדאוטריום, וגרעין ההליום לא היה נוצר בכלל. המשמעות היא יקום אחיד שהיה מורכב רק ממימן. מצד שני אילו ההפרש היה 0.8% תהליך ההיתוך הגרעיני היה כל כך מהיר שמייד אחרי המפץ הגדול כל המימן ביקום היה הופך להליום. שוב היה מתקבל יקום אחיד שהיה מורכב רק מהליום, ללא תהליכי התכה גרעינית וללא שמשות. בשני המקרים לא היה יכול להתפתח יקום מורכב המכיל יסודות רבים, ובודאי לא היו יכולים להתפתח חיים. רק הפרש מדויק של 0.7% מאפשר את היווצרותו של היקום שלנו, והוא נובע מיחס פיזיקלי בין הכוח הגרעיני החלש לכוח הגרביטציה. יחס זה הוא זה שאפשר ליקום להיווצר בצורתי הנוכחית.

הדוגמה השנייה שאציג מתייחסת להיווצרותו של אטום הפחמן שהוא כאמור היסוד לכל המולקולות האורגניות. כאמור ביקום הצעיר החלו יסודות להיווצר כתוצאה מהתנגשויות של גרעינים בעלי אנרגיה גבוהה, שיצרו יסודות כבדים יותר. הפחמן שמכיל 6 פרוטונים ו-6 ניטרונים יכול להיווצר מהתנגשות של 3 גרעיני הליום (שכל אחד מהם מכיל 2 פרוטונים וניטרונים). אולם ההסתברות להתנגשות של 3 חלקיקים באותו זמן היא נמוכה מאוד, ולכן סביר יותר להניח שהיווצרות הפחמן היא תוצאה של תהליך תלת שלבי שנקרא Triple Alpha Process ומתואר בתרשים שלהלן[11].

---

[10] מקור: Why is There Life? Discover, November 2000
/http://discovermagazine.com/2000/nov/cover

[11] מקור: וויקיפדיה - https://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha_process?oldid=718866213



בשלב הראשון נוצרים גרעיני הליום באמצעות גרעיני דאוטריום, כפי שתואר קודם. בשלב השני שני גרעיני הליום מתנגשים ויוצרים גרעין של בריליום שמכיל 4 פרוטונים ו-4 ניטרונים. בשלב השלישי גרעין הבריליום מתנגש עם גרעין נוסף של הליום וכך נותר גרעין של פחמן שמכיל 6 פרוטונים ו-6 ניטרונים.

האסטרופיזיקאי הבריטי אלפרד הויל שהיה ממניחי היסוד של המחקר בתחום היווצרות היסודות, הצליח לחזות את רמת האנרגיה של גרעין הפחמן באמצעות ההנחה שהיקום מוכוון לטובת היווצרותם של חיים אורגניים. הויל שאל את עצמו כיצד יכול התהליך התלת שלבי שתואר קודם להסביר את העובדה שפחמן הוא יסוד כל כך נפוץ. ההסתברות שהתהליך התלת שלבי יקרה היא מאוד נמוכה ולכן היווצרות של כמות גדולה כל כך של פחמן תדרוש זמן ארוך בהרבה מזמן קיומו של היקום. הויל חישב ומצא שהיווצרות כמות גדולה של פחמן אפשרית רק אם רמת האנרגיה של גרעין הפחמן תהיה בעלת ערך מאוד מסוים (7.7 מגה אלקטרון וולט). רמת אנרגיה כזאת לא נצפתה עד אז ונחשבה כבלתי סבירה. ב- 1952 הויל פנה לעמיתו ויליאם פאולר שהיה פיזיקאי גרעין והתעקש שרמת האנרגיה של גרעין הפחמן חייבת להתאים לחישוביו. בתחילה הוא נתקל בספקנות, אולם לבסוף פאולר הסכים לאפשר לבצע ניסוי שיבדוק את השערתו של הויל, שהוכחה כנכונה. במלים אחרות, רמת האנרגיה של גרעין הפחמן, שהיא נתון פיזיקלי, תואמת בדיוק את רמת האנרגיה הנדרשת לצורך יצירתם שלגרעיני פחמן בכמות שתאפשר את יצירתם של החיים האורגניים.

הויל עצמו כתב את הדברים הבאים לאחר מכן[12]:

"האם לא תאמרו לעצמכם שהתכונות של אטום הפחמן תוכננו ע"י תבונה בעלת יכולת חישוב בלתי רגילה? בכל מקרה אחר הסיכויים שאטום כזה ייווצר באמצעות חוקי הטבע העיוורים הם זעירים. המסקנה שנובעת מהעובדות ומהשכל הישר היא שתבונה גבוהה היתלה בחוקי הפיזיקה, הכימיה והביולוגיה, ושאין בנמצא כוחות טבע עיוורים. המספרים שנגזרים מהתצפיות על המציאות הם כל כך מדהימים, שנראה לי שלא ניתן להטיל ספק בתקפותה של מסקנה זו."

המסקנה של הויל היא שהיקום נוצר כשהוא מוכוון להיווצרותם של החיים, ומכאן נגזר קיומה של תבונה גבוהה. מסקנה זו מכונה "העיקרון האנתרופי החזק" והיא משלבת למעשה בין הברירה הטבעית העיוורת של דרווין לתכנון התבוני של מתנגדיו. האבולוציה אכן מתרחשת באמצעות מוטציות גנטיות אקראיות שמוכוונות ע"י הברירה הטבעית, אולם חוקי הטבע והקבועים הפיזיקליים יוצרים מעין "כוונון עדין" לתהליך האבולוציה כך שהוא מוביל בסופו של דבר להתפתחות החיים כפי שאנו מכירים אותם[13].

---

[12] Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections." Engineering and Science, November, 1981. pp. 8–12

[13] מבקרי "העיקרון האנתרופי החזק" מציגים הסבר אלטרנטיבי לתופעת הכוונון העדין של ביקום, באמצעות הרעיון של "ריבוי יקומים" (Multiverse). על פי הסבר זה המפץ הגדול איננו אירוע יחידי, אלא מתמשך כאשר בכל פעם נוצר יקום אחר

אלברט איינשטיין סבר גם הוא שהחוקיות בטבע מצביעה על מקור תבוני שעומד מעל לחוקי הטבע. הציטוטים שלהלן מבטאים את תפיסתו בנושא זה[14]:

"כל מי שעוסק באופן רציני במחקר מדעי משתכנע שישנו היבט רוחני שמתבטא בחוקים של היקום; היבט רוחני זה הוא נעלה לאין שיעור ביחס לרוח האדם."

....

"אני מאמין באלוהים של שפינוזה שמתגלה בתוך ההרמוניה של כל מה שקיים, אבל אינני מאמין באלוהים שמתעניין בגורלם או במעשיהם של בני האדם."

על מנת להמחיש את כיצד ניתן לשלב תכנון תבוני עם תהליך אבולוציוני אקראי, נשתמש במודל סימולציה מתמטי[15]. מודל הסימולציה ממחיש כיצד אקראיות שפועלת בתוך מסגרת של כללים מתמטיים יכולה ליצור מבנים בעלי סדר או מבנים חסרי סדר, כתלות בפרמטרים של המודל. המודל מבוסס על פתרון של מערכת משוואת לינארית שמוצגת להלן, באמצעות אלגוריתם של איטרציה (הצבת הפתרון שמתקבל במערכת המשוואות וביצוע חישוב מחדש):

$$x' = ax + by + e$$
$$y' = cx + dy + f$$

המקדמים של מערכת המשוואות מוצגים בטבלה שלהלן.

Coefficients	a	b	c	d	e	f
1	-0.2	-0.3	0.3	0.6	0.9	0.8
2	-0.5	-0.9	0.9	-0.3	0.1	0.5

השורה הראשונה (שמסומנת ב-1) מציגה את המקדמים של מערכת המשוואות ראשונה:

$$x' = -0.2x - 0.3y + 0.9$$
$$y' = 0.3x + 0.6y + 0.8$$

השורה השנייה (שמסומנת ב-2) מציגה את המקדמים של מערכת המשוואות שנייה:

$$x' = -0.5x - 0.9y + 0.1$$
$$y' = 0.9x - 0.3y + 0.5$$

באמצעות שתי מערכות המשוואות הנ"ל מחשבים את ערכי X ו-Y תוך שימוש באלגוריתם הבא:

- בוחרים ערך שרירותי כלשהוא של X ו-Y ומציבים אותו באחת ממערכות המשוואות. לשם המחשה נבחר את הערך (0,0) ונציב אותו במערכת המשוואות השנייה. התוצאה שנקבל היא (0.1,0.5).
- כעת נציב את הערך שקיבלנו עבור X ו-Y שוב במערכת המשוואות השנייה ונקבל את התוצאות הבאות:

X = -0.5*0.1 – 0.9*0.5 + 0.1 = -0.4
Y = 0.9*0.1 – 0.3*0.5 + 0.5 = 0.44

עם תכונות אחרות. היקום שבו אנו חיים הוא אחד מתוך מספר גדול של יקומים, וההתאמה שלו לחיים אורגניים היא מקרית לחלוטין. מדענים רבים מעדיפים את ההסבר של "ריבוי יקומים", אולם אין להסבר זה קדימות או יתרון ביחס ל"עקרון האנתרופי החזק". על פי התיאוריה של "ריבוי יקומים" לא יכול להיווצר שום קשר בין היקומים השונים, ולכן אין לנו שום דרך להוכיח או להפריך את התיאוריה באמצעות ממצאים אמפיריים.

[14] Corey Powell, "God in the Equation : How Einstein Transformed Religion", Free Press, 2003 (pages 3 and 13)

[15] המודל פותח ע"י הפיזיקאי J.C. Sprott ומוצג בקישור שלהלן (ניתן להוריד משם קובץ אקסל ולשחזר את הסימולציות): http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/computation/unit/sim_add/fractals.html

- בשלב הבא נציב את הערכים החדשים שקבלנו, אבל הפעם במערכת המשוואות הראשונה ונקבל את הערכים (0.848,0.944).
- התהליך חוזר על עצמו באופן זה מספר רב של פעמים.

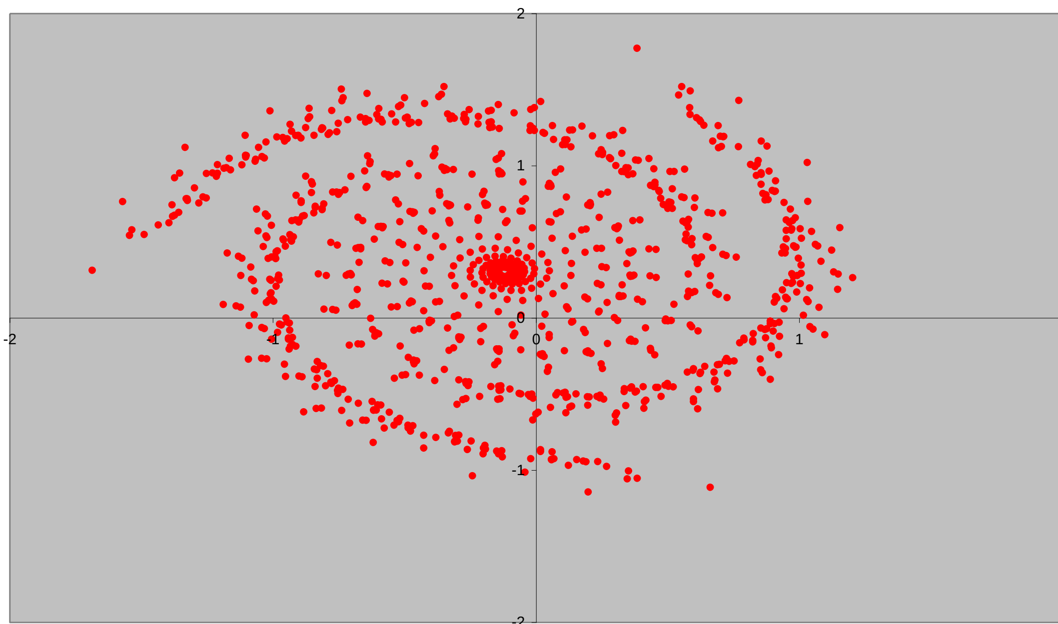
הגורם האקראי באלגוריתם החישוב הוא הבחירה של מערכת המשוואות שבה נציב את הערך החדש שהתקבל. בחירה זו נעשית באופן אקראי, באמצעות הסתברות מוגדרת מראש. הסתברויות לבחירת כל אחת ממערכות המשוואות מוצגות בטבלה שלהלן:

Probabilities

Equation	Prob.	Cum.
0	0	0
1	0.0303	0.0303
2	0.9697	1

ההסתברות לבחירת מערכת המשוואות השנייה היא 97% בעוד שההסתברות לבחירת מערכת המשוואות הראשונה היא 3%. ההטיה לטובת מערכת המשוואות השנייה מדמה בסימולציה שלנו את תהליך הברירה הטבעית. מערכת המשוואות השנייה מדמה את הגנים המותאמים יותר לסביבה שלהם יש סיכויי הישרדות טובים יותר.

באמצעות תהליך זה שמשלב אלגוריתם מתמטי עם משתנה אקראי, אנו יוצרים סדרה של נקודות על מערכת הצירים שאותה ניתן להציג באופן גרפי. על מנת להימנע מההשפעה של הנקודה הראשונה (שנקבעה שרירותית) מתחילים את הגרף מהערך ה-20 וחוזרים על החישוב 1,000 פעמים. התוצאה מוצגת בתרשים שלהלן:



ניתן לראות שהשילוב של אקראיות שתחומה בתוך אלגוריתם מתמטי מוגדר הניבה תבנית של ספירלה, שמזכירה מבנים דומים שקיימים בטבע.

אולם המבנה שהתקבל בדוגמה שהוצגה לעייל תלוי לחלוטין בערכי הפרמטרים של שתי מערכות המשוואות. ערכים אלה מדמים את הקבועים הפיזיקליים בטבע. על מנת להמחיש נקודה זאת נשנה את ערכם של שני המקדמים a ו- b במערכת המשוואות השנייה, כפי שמוצג בטבלה שלהלן:

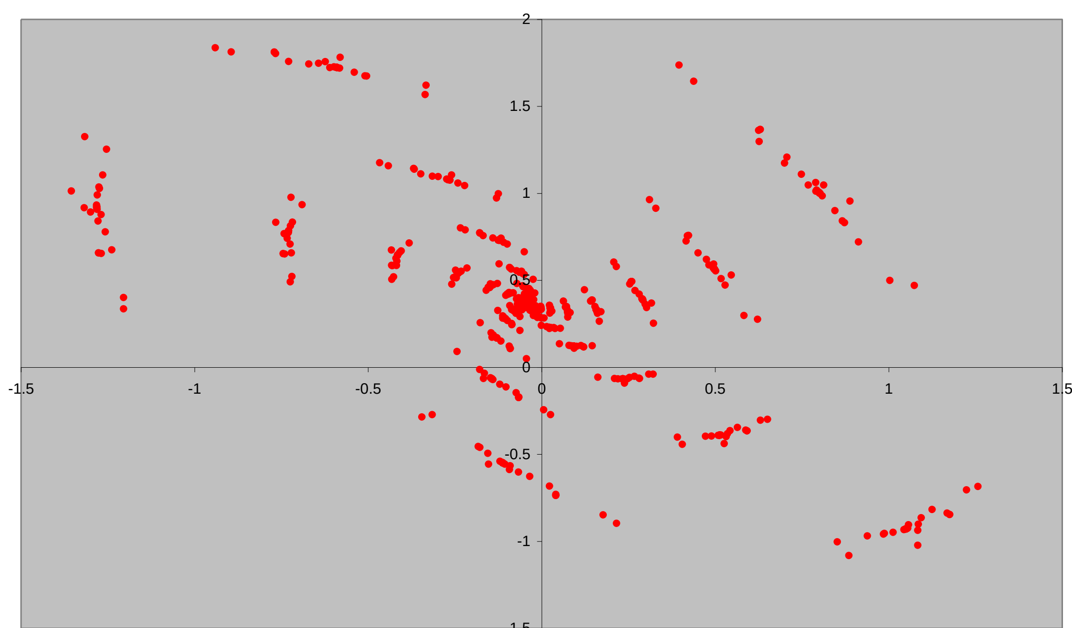
Coefficients	a	b	c	d	e	f
1	-0.2	-0.3	0.3	0.6	0.9	0.8
2	-1.1	-0.5	0.9	-0.3	0.1	0.5

את ההסתברות לבחירה של מערכת המשוואות נשאיר ללא שינוי, כך שמערכת המשוואות השנייה תמשיך להיות מועדפת ע"י הסתברות של 97%, כדי לדמות את עקרון הברירה הטבעית (ההסתברויות מוצגות הטבלה שלהלן).

Probabilities

Equation	Prob.	Cum.
0	0	0
1	0.03	0.03
2	0.97	1

התרשים שלהלן מציג את תוצאות הסימולציה לאחר השינוי שנעשה בשני המקדמים.



ניתן לראות שהנקודות מפוזרות באופן כמעט אקראי וקשה למצוא תבנית מסודרת בתרשים.
מודל הסימולציה ממחיש כיצד תהליך אקראי שפועל בתוך מסגרת של חוקיות מתמטית יכול ליצור מבנים גיאומטריים מאורגנים, או מבנים אקראיים חסרי סדר. התוצאה הסופית של מבנה מאורגן או מבנה אקראי חסר סדר, תלויה בפרמטרים המספריים של המודל. או במלים אחרות, אם אנחנו רוצים שהסימולציה תביא למבנה מאורגן, אנחנו צריכים לכוונן את המודל כך שתתקבל התוצאה הרצויה.

שאלה מהותית שתורת האבולוציה של דרווין איננה מתייחסת אליה היא כיצד נוצרו תאים חיים מתוך חומר שאיננו חי. שאלה זו היא מוקד למחלוקת בין מדענים ופילוסופים. פרופסור ישעיהו לייבוביץ' טען שלא ניתן לענות על שאלת מקור החיים באמצעות הכלים המדעיים, מכיוון שזוהי שאלה פילוסופית[16].

"כל ידע על אפשרות התהוותם של חומרים "ביולוגיים" בעולם הדומם, בעקבות פעולת הגורמים הפיסיקרכימיים הפועלים בעולם ההוא, ואף כל ההיפותזות (ברובן מעורפלות ורבות הסתירות הלוגיות) בדבר אפשרות צבירתם של חומרים אלה ושילובם ההדדי עד ליצירת מבנים פונקציונאליים — אין בהם הסבר ל"התהוות החיים", מאחר שאין ידע זה ואין היפותזות אלו מתייחסות כלל לשאלה הנידונה: מדוע (או מאיזו בחינה) מבנים אלה הם "חיים"? משל למה הדבר דומה — לתיאור ממצה של אוטובוס מבחינת דרכי ההפקה או היצור של החומרים שמהם הוא מורכב (פלדה, פחי־ברזל, העץ, הצמג, החומרים הפלסטיים וכו'), עיצוב הרכב והמנוע מחומרים אלה, מכאניזם פעולת המנוע והתנעת הרכב וכו': אין בכל זה שום הסבר, ואף שום התייחסות, לעובדה שאוטובוס זה מקיים שירות קבוע בין ירושלים לתל־אביב!"

אולם עמדתו של לייבוביץ' היא עמדת מיעוט ורוב המדענים שעוסקים בחקר האבולוציה סבורים שהחיים נוצרו באמצעות ריאקציות כימיות מקריות שהמשיכו להתפתח באמצעות הברירה הטבעית. עמדה זו מוצגת לשם המחשה בדבריו של פרופסור שניאור ליפסון שהיה המנהל המדעי של מכון ויצמן וחתן פרס ישראל למדעי החיים[17]:

"מכל אלה נובעות שתי מסקנות ראשוניות לגבי חקר מוצא החיים: האחת, כי הברירה הטבעית היא ביסודה תהליך כימי, והשנייה, כי התא החי, ואפילו הפרימיטיבי ביותר, הוא עדיין מערכת טלאונומית כל-כך מורכבת, שבשום אופן אי-אפשר לראות בה את השלב הראשוני של התהוות החיים מחומר דומם. לפיכך אין מנוס מן המסקנה, שהיא הנושא המרכזי והתכלית של דברי: הברירה הטבעית התחילה בחומר דומם, כתהליך כימי שקדם להופעת החיים והיה תנאי להתהוותם. הדנ"א, הצופן הגנטי, החלבונים — כל אלה נוצרו כתוצאה של תהליך אבולוציוני של ברירה (סלקציה) בחומר שעדיין לא ניתן לכנותו חומר חי, כיוון שעדיין לא היו לו תכונות טלאונומיות מובהקות. מנגנון של ברירה טבעית הקנה לו תכונות כאלה, ומאז ואילך התפתח בהדרגה עד שהגיע לצורת התא החי. את שלבי ההתפתחות הזאת אין אנו יודעים, כיוון שלא נמצאה דרך לשחזר את אשר אבד, אך ביכולתנו להסביר בעיקרון כיצד תהליך כזה יכול היה לקרות, ולתאר את התכונות העיקריות של שלביו ההכרחיים."

המושג "טלאונומיה" שנזכר בציטוט שלעיל, משמש לתיאור התנהגות של יצורים חיים שנראית כמשרתת את השגתה של תכלית חיצונית. ביולוגים משתמשים בו כתחליף למושג הפילוסופי "טלאולוגיה" שעל פיו יצורים חיים פועלים להשגת תכלית שהיא חיצונית להם. על פי הגישה המקובלת היום בביולוגיה המטרה הסופית של כל ייצור חי היא הישרדות והתרבות. מטרה זו יוצרת התנהגות טלאונומית, שמטרתה לשרת את התכלית הזאת. התהליכים הטלאונומים מתפתחים בכל יצור חי בגלל הברירה הטבעית. הגנים של אותם יצורים חיים שמותאמים טוב יותר להשגת המטרה של הישרדות והתרבות באמצעות התנהגות טלאונומית, יישרדו ויעברו לדורות הבאים.
אולם גם עמדתו של ליפסון איננה עומדת בסתירה להשקפה שהצגתי קודם. ליפסון טוען שמולקולות אורגניות יכולות להתפתח באמצעות ריאקציות כימיות מקריות והן הופכות לנפוצות יותר מכיוון שיש להן תכונות שמסייעות להישרדותן. באופן זה יכול לדעתו להיווצר גם תא חי מתוך אותם חומרים אורגניים (למרות שלמיטב ידיעתי איש עדיין לא הצליח לשחזר יצירה של תא חי בתנאי מעבדה). אולם התהליך האקראי הזה יכול לקרות רק בכפוף לחוקי טבע ולקבועים הפיסיקליים שמאפשרים לתהליכים הכימיים לקרות. התפתחותן של מולקולות מורכבות מתוך אטומים פשוטים התאפשרה בין היתר כתוצאה מכלל האוקטט שהוא המקביל של חוק האוקטבה ברמת החלקיקים היסודיים. כלל האוקטט מביא לכך שרוב האטומים נמצאים במצב של חוסר מנוחה תמידי, למרות שמבחינה חשמלית הם מאוזנים. האיזון שאליו שואפים האטומים מושג רק לאחר שהם השלימו את מספר האלקטרונים בקליפת הערכיות ל-8, קרי לאוקטבה מלאה. בכל מצב אחר האטומים חסרי המנוחה משתפים אלקטרונים או מוסרים ומקבלים אלקטרונים על מנת להגיע לאיזון. המספר 8 הוא מעין "מספר קסם" בעולם האטומי, שהשאיפה אליו גורמת לאטומים להתקשר אחד עם השני.

[16] ישעיהו ליבוביץ, "על החיים, על מכאניזמי החיים ועל התהוותם", מחשבות 35, יולי 1972.
[17] שניאור ליפסון, "אחדות הטבע והיקום", מחשבות 57, נובמבר 1988.

על פי חוק האוקטבה בתהליך ההתפתחות ישנן שתי נקודות אי רציפות: בין הדרגה ה-3 ל-4 (התווים מי ופה) ובין הדרגה ה-7 ל- 8 (התווים סי ודו של האוקטבה הבאה). את נקודת אי הרציפות השנייה ראינו כבר במעבר ממצב של חוסר איזון למצב של איזון, שמושג כאשר ישנם 8 אלקטרונים בקליפת הערכיות. נקודת אי הרציפות הראשונה באה לידי ביטוי במרכזיותו של אטום הפחמן בתוך המולקולות האורגניות. לאטום הפחמן יש 4 אלקטרונים בקליפת הערכיות ולכן הוא בעל היכולת המרבית ליצור קשרים כימיים. כתוצאה מכך אטום הפחמן הוא אבן הבניין המרכזית של כל המולקולות שמרכיבות את היצורים החיים (כגון: פחמימות, חומצות אמינו (חלבונים) ועוד).
השילוב של אטומים חסרי מנוחה שמנסים ליצור קשרים אחד עם השני, ביחד עם אטום פחמן בעל יכולת מרבית ליצירת קשרים, הוא זה שמאפשר את התפתחות המולקולות הארוכות והמורכבות שמאפיינות את כל היצורים החיים. שילוב זה הוא תוצאה ישירה של כלל האוקטט שמשקף את חוק האוקטבה.
אסכם את נושא הזה בדבריו של פרופסור יואב ויזל במאמר שהוזכר כבר קודם[18]:

"מערכות חיות בנויות ומתפקדות בסדר קבוע. הבנת החוקיות של סדר זה, תהיה אשר תהיה הסיבה ליצירתו, היא אחד האתגרים המעניינים ביותר במדעי החיים.
מערכות ביולוגיות הן ביסודן מערכת דטרמיניסטיות, המסתמכות על מערכת מידע משוכללת. לעיתים אין הדטרמיניזם נראה לנו בצורה מוחשית ובולטת, אבל גם במקרים של ספק אפשר לראות בכל שלב ושלב של חיי האורגניזם את התוצאות של "עריכה" מתוכננת וקפדנית להרחקת שגיאות מקריות. כאשר מערכת ביולוגית עוברת ממצב של ודאות למצב של אי ודאות, היא מפסיקה להתקיים כמערכת חיה.
מערכת פרקטלית היא מערכת דטדמיניסטית. ניתן להשתמש בניתוח פרקטלי כדי לתאר את מרכיביו של אורגניזם חי. אבל לניתוח כזה יש מגבלות חמורות מבחינת קני המידה ומבחינת החוקיות של המבנים שהיא באה לתאר.
יציבותו של הטבע היא תוצאה של כללי התנהגות נוקשים של כל מרכיביו. התבוננות בטבע כבמערכת של תוהו ובוהו היא שעשוע נחמד. אבל יש לזכור שהטבע, כפי שאנו מכירים אותו, כולל בתוכו גם מרכיבים חיים -דטרמיניסטיים. משום כך, קיומו של הטבע כיחידה אקולוגית מתפקדת איננו יכול להיות כאוטי."

---

[18] יואב ויזל, " ואולי בכל זאת יש סדר בטבע", מחשבות 68, ספטמבר 1996.

ז. התודעה והמוח

גם מדענים שסבורים שהחיים נוצרו באמצעות תהליכים כימיים מקריים, מתקשים להסביר את התודעה האנושית באמצעות אבולוציה אקראית שמוכוונת רק ע"י הברירה הטבעית. ביטוי לכך ניתן למצוא בדבריו של יוסף נוימן – פרופסור לביולוגיה ופילוסופיה באוניברסיטת תל אביב.

"אין חולקים על כך, או נאמר אין חולקים על כך מבין המוכנים לקבל את ממצאי המדע, שגם מין האדם נוצר, ככל המינים האחרים, בתהליך האבולוציה, ושתכונותיו עוצבו באמצעות תהליך הבירור הטבעי. תכונות אלה כוללות את מבנה גופו, את מערכותיו האנטומיות והפיזיולוגיות, את דגמי התנהגותו, את כשריו המנטליים וגם רבים ממניעיו הפסיכולוגיים – יצר הקיום, האנוכיות, הצורך להשתייך לקבוצה, ההורות ואהבת הילדים ועוד. תכונות אלה נוצרו כהסתגלויות לתנאי הסביבה ולאורח החיים בשירות המטרה העליונה – העברת עותקי הגנים לדור הבא. אך אף על פי שהתשתית הביולוגית של האדם ממשיכה להשפיע על התנהגותו, האדם איננו מכונת שרידה להעברת עותקי גנים. ה"אינטרס" של הגנים, כפי שראינו, הוא להגדיל ככל האפשר את הסיכוי שלהם לעבור לדור הבא. האינטרס של האדם יכול להיות מנוגד תכלית ניגוד ל"אינטרסים" של הגנים שלו. מהו האינטרס של האדם? מה הוא רוצה למקסם? עונג? כסף? הערכה עצמית? מספר האפשרויות הוא כמעט אינסופי. אמונה עשויה להביא אנשים לידי כך ששרידת עצמם מאבדת כל חשיבות בעיניהם. אדם המאמין בדת או באידיאה יכול לצום עד מוות, להקריב את חייו במלחמת קודש, להקריב את בנו או לרצוח את ילדיו, כפי שעשתה מגדה גבלס (אשתו של שר התעמולה בממשלה הנאצית יוזף גבלס) שהרגה את ששת ילדיה ב-1 במאי 1945 בבונקר של היטלר, בטרם התאבדו היא ובעלה.
בני אדם ורק בני אדם יכולים להימנע מרבייה על ידי התנזרות מחיי מין, או על ידי שימוש באמצעי מניעה. והם גם יכולים להגביר את הקצב שלה אם ברצונם לשנות את מה שמכונה אצלנו "המצב הדמוגרפי". לכן יש בדעתי להעביר את קו ההבחנה החד לא בין העולם הדומם ועולם היצורים החיים, כי אם בין האדם ובין כל היצורים החיים האחרים."[19]

התודעה האנושית היא שלב באבולוציה של האדם, אולם בשונה מכל מנגנון אחר בטבע שניתן לתת לו הסבר טלאונומי שנוצר ע"י מקריות שמוכוונות ע"י הברירה הטבעית, בני אדם פועלים מסיבות טלאולוגיות – כלומר הם פועלים להשגת מטרות שנקבעו על ידם, ועשויות להיות הפוכות לחלוטין ל"אינטרס" הגנטי של הישרדות ורביה.

"כאשר אנחנו פועלים בצורה מסוימת כדי להשיג מטרה כלשהי, אנחנו מייחסים את השגתה לרצון שלנו. זהו הסבר טלאולוגי, שהאדם מייחס להתנהגות של עצמו ולהתנהגויות של בני-אדם אחרים. תופעה זו והסבר זה שונים מסדרה של תופעות ביולוגיות ומן ההסברים להן, כמו שמירה על הרכב קבוע של הדם, קיום של סדירות ורצף בהתפתחות הפרט מתא הביצה ועד לייצור הבוגר, או נדידת דג הסלמון אלפי ק"מ בטרם הטלת הביצים. כל אלה הן תופעות המכוונות למטרה, אך הן תופעות מכניסטיות ולא מודעות. הן מכונות תופעות טלאונומיות. לעומת זאת, התנהגות טלאולוגית, מודעת והתכוונותית, היא ייחודית לאדם, והופעתה היא שלב באבולוציה של החיים."[20]

תכונה נוספת של התודעה האנושית היא היכולת שלה להבין את חוקי הטבע.

"הקטגוריות הבסיסיות של זמן, חלל וסיבתיות שירתו את האדם בהצלחה גם בחשיבה המדעית. המודלים של המדע הקלאסי התבססו עליהן, על יכולתנו ליצור דימויים וייצוגים תמונתיים, ועל האינטואיציות הבסיסיות שלנו.
לעומת זה הצליח האדם, באמצעות האופרציות הפורמליות של החשיבה, לבנות תמונת עולם המנוגדת לאינטואיציות הבסיסיות שלו. אם השכל האנושי נוצר ב"מערה" כדי לשרת את צורכי הקיום היומיומיים של האדם, כיצד השכיל האדם להבין את תורת היחסות או את תורת הקוואנטים?"[21]

העיקרון הביולוגי של הברירה הטבעית איננו מחייב שתהיה לנו יכולת להבין את העולם ואף לחזות כיצד הוא יתנהג באמצעות מודלים מתמטיים, שהם תוצרים של התודעה שלנו. אלוין פלנטינגה – פרופסור

[19] יוסף נוימן, "החיים ותודעת החיים – היווצרות החיים, דרוויניזם, האדם", הוצאת רסלינג, 2010. (עמוד 223).
[20] יוסף נוימן, "החיים ותודעת החיים – היווצרות החיים, דרוויניזם, האדם", הוצאת רסלינג, 2010. (עמוד 194).
[21] יוסף נוימן, "החיים ותודעת החיים – היווצרות החיים, דרוויניזם, האדם", הוצאת רסלינג, 2010. (עמוד 195).

לפילוסופיה באוניברסיטת נוטרה-דאם באינדיאנה ואחד מהמצדדים של גישת התכנון התבוני – מתייחס לנושא זה בביקורת שכתב על ספרו של ריצ'רד דוקינס[22]:

"מנקודת מבט תאיסטית, היינו מצפים שהיכולות שקיימות בתודעה שלנו יאפשרו לנו ברוב המקרים ליצור תמונת עולם אמיתית. אלוהים יצר אותנו בצלמו, וחלק חשוב מכך שנוצרנו בצלם אלוהים הוא היכולת שלנו ליצור אמונות ולהשיג ידע, שמקרבים אותנו להבנת טבעו האמיתי של העולם. אולם מנקודת מבט נטורליסטית המחשבה שהתודעה שלנו יכולה ליצור תמונת עולם אמיתית היא במקרה הטוב תקווה נאיבית. ההשקפה הנטורליסטית גורסת שהמנגנונים הנוירופיזיולוגיים במוח שלנו יוצרים את התודעה, והם נוצרו בתהליך אדפטיבי על מנת להגדיל את שרידותנו. אולם שום דבר בתהליך הנוירופיזיולוגי הזה לא מבטיח שהתודעה שתיווצר תיתן לנו תמונת עולם אמיתית. למעשה בהינתן ההשקפה הנטורליסטית של אבולוציה מקרית שמוכוונת רק ע"י הברירה הטבעית, הסבירות לכך שתתפתח תודעה שמסוגלת להבין את טבעו של העולם היא מאוד נמוכה."

פרנסיס קריק – הביולוג הבריטי זוכה פרס הנובל שהיה שותף לגילוי המבנה של מולקולת ה- DNA – טוען בספרו The Astonishing Hypothesis שניתן להסביר את התודעה באמצעות כלים מדעיים שמתבססים על המבנה הכימי של תאי המוח. אולם גם הוא מודע לקושי שנובע מההנחה שהתודעה היא תוצר של אבולוציה עיוורת.

"אחרי הכל, המוח האנושי על כל תחכומו לא התפתח על מנת לגלות אמיתות מדעיות, אלא רק על מנת לאפשר לנו להיות מספיק פיקחים כדי שנוכל לשרוד ולהביא צאצאים."[23]

על מנת להמחיש את הקושי של הגישה הנטורליסטית, שמכונה גם הגישה מטריאליסטית, ומניחה שהתודעה היא תוצר של תהליכים כימיים במוח שהתפתחו באמצעות הברירה הטבעית, נסתכל על המקרה של "פרדוקס התאומים". אלברט איינשטיין הציג את תורת היחסות הפרטית בשנת 1905. איינשטיין העיד שהמניע אשר דחף אותו לפתח את תורת היחסיות היה חוסר סימטריה ביסודה של תופעה אלקטרומגנטיות בסיסית, שבה תנועה יחסית בין מוליך לשדה מגנטי יוצרת זרם חשמלי במוליך. לתופעה זו הוצעו בזמנו שני הסברים שונים לחלוטין.
איינשטיין לא היה מוכן להשלים עם אי-הסימטריה שמאפשרת לתת שני הסברים שונים לחלוטין לתופעה אחת. הניסיון למצוא הסבר אסתטי וסימטרי לתופעה זו דחף אותו לפתח את תורת היחסות.
אחד הנגזרים של תורת היחסות הפרטית הוא ניסוי מחשבתי שנקרא "פרדוקס התאומים". נניח ששני תאומים (בני אותו גיל כמובן) נפרדים זה מזה; האחד טס בחללית שנעה במהירות הקרובה למהירות האור וחוזר לאחר מכן לכדור הארץ, ואילו השני נשאר על פני כדור הארץ. עפ"י תורת היחסות הפרטית השעון של התאום הנע יהיה אטי יותר מהשעון של התאום הנייח, ולכן התאום הנע יזדקן לאט יותר מאחיו הנייח. אם מהירות החללית היא 99.5 אחוזים ממהירות האור, על כל שנה שעוברת על התאום האסטרונאוט יעברו עשר שנים על אחיו יושב הבית. כשהאסטרונאוט יחזור לאחר חמש שנים לפי שעונו, הוא ימצא שעל כדור הארץ עברו חמישים שנה[24].
מסקנה זו של תורת היחסות הפרטית היא הפוכה לחלוטין הן לניסיון היומיומי שלנו והן לאינטואיציה שלנו. עם כל זאת איינשטיין, שהונע כאמור ע"י שקולים של סקרנות ואסתטיקה, גזר אותה באמצעות נוסחאות מתמטיות והיא הפכה לתיאוריה המקובלת בפיזיקה. רק בשנת 1971 (כ- 16 שנה לאחר מותו של איינשטיין) הצליחו שני חוקרים אמריקאים – הייפלי וקיטינג – לאמת את מסקנותיה של תורת היחסות באמצעות ניסוי. הם חיקו את פרדוקס התאומים באמצעות הטסה של ארבעה שעונים אטומיים פעמיים סביב כדור הארץ, ראשית מזרחה ואחר כך מערבה, והשוואת הזמנים שציינו לאלה של שעון אטומי שלא הוטס. השעונים שהוטסו סטו מן הזמן שציין השעון שלא הוטס, באופן שתאם את תצפיות תורת היחסות לגבי התארכות זמן. או במלים אחרות הם הזדקנו בקצב יותר איטי, כפי שצופה פרדוקס התאומים.

---

[22] The Dawkins Confusion http://www.booksandculture.com/articles/2007/marapr/1.21.html
[23] המובאה לקוחה מתוך: Mario Beauregard & Denyse O'Leary, "The Spiritual Brain", Harper One, 2007 (page 111)
[24] יורם קירש, "המדריך המלא לנוסע בזמן", גליליאו - מגזין המדע, מרץ 2007. http://www.hayadan.org.il/time-travels-galileo-2601071

נשאלת השאלה אם אכן התודעה שלנו התפתחה באמצעות אבולוציה מקרית שמונעת רק ע"י הברירה הטבעית, כיצד זה אפשרי שמדענים מסוגלים ליצור תחזיות תיאורטיות מדויקות על מבנה היקום שהן מנוגדות לחלוטין להתנסות היומיומית שלנו.
באופן בלתי נתפס קיימת התאמה בין חוקי הטבע למודלים מתמטיים, שהם תוצרים של התודעה שלנו ונגזרים במקרים רבים משיקולים של אסתטיקה. עדי צמח – פרופסור לפילוסופיה באוניברסיטה העברית – מביא דוגמא נוספת לכך[25]:

"פיסיקאי בשם דיראק, אחד מגדולי הפיסיקאים המודרניים, כתב נוסחאות למבנה החלקיקים האלמנטריים, נוסחאות שאין להן שום משמעות פיסיקלית. אנשים אמרו לו – השתגעת? והוא ענה: אבל זה יפה כלכך! מה זה, שאלו האנשים, אתה משחק משחקים? הרי אתה פיסיקאי. פיסיקאי אינו עושה פרמוטציות, שנראות יפה מאוד בתוך תחשיב מתמטי, אבל אין להן שום פשר פיסיקלי. אנשים אומרים שנטרפה דעתו, ומה הסוף? התיאורמות של דיראק מתארות בצורה הנכונה ביותר את מבנה החומר."

פול דיראק, שעליו מדבר עדי צמח, היה ממניחי היסוד למכאניקת הקוואנטים. במהלך ביקורו בברית המועצות, הוא הוזמן לתת הרצאה על תפישתו את הפיזיקה. מסופר שהוא קם מכיסאו וניגש ללוח, וכתב:

"חוקי הפיזיקה צריכים להיות בעלי יופי ופשטות מתמטית". [26]

אפשר היה להסיק שחלקים בתודעה שלנו שמסייעים להישרדותנו התפתחו באופן מקרי כתוצאה מהברירה הטבעית. אולם התודעה האנושית יוצרת גם מושגים כמו מתמטיקה ואסתטיקה שאין להם קיום מחוץ לה. באופן מפתיע באמצעות מושגים אלה ניתן לחזות את החוקיות בטבע גם לגבי תופעות שהן לחלוטין מחוץ לניסיון היומיומי שלנו.
יתרה מכך הטענה שחשיבה רציונלית מובילה למסקנה שהתודעה היא תוצר של תהליך אבולוציוני עיוור, מכילה בתוכה סתירה פנימית. הסופר ליאון ויזלטיר, שהיה העורך של המגזין "ניו ריפבליק", מסביר זאת במאמר ביקורת שכתב בניו יורק טיימס:

"היא [הטענה הנ"ל] **מציגה את ההיגיון כתוצר של הברירה הטבעית שנועד לשרת אותה. אבל אם ההיגיון הוא תוצר של הברירה הטבעית, מדוע שנקבל את תקפותם של הסברים רציונליים לברירה הטבעית? כוחו של ההיגיון נובע מכך שהוא תקף תמיד, ללא תלות בדבר (במובן זה רציונליזם קרוב יותר למיסטיקה מאשר למטריאליזם). ביולוגיה התפתחותית איננה יכולה להסתמך על נימוקים רציונליים מצד אחד, ולהטיל ספק בתקפותו של ההיגיון מצד שני."**[27]

גורם נוסף שעומד בניגוד לתפיסה שהתודעה היא רק תוצאה של תהליכים כימיים במוח, הן עדויות מדעיות שמראות את ההיפך. מחקרים רבים בתחום המתפתח של מדעי המוח (Neuroscience) מראים שהתודעה משפיעה על תהליכים שקורים במוח. טכניקות סריקה כגון: הדמיה מגנטית תפקודית (fMRI) או טומוגרפיה של פליטת פוזיטרונים (PET) מאפשרות לחוקרים לראות את הפעילות באזורים של המוח ולבחון כיצד פעילותו של המוח מושפעת מגורמים שונים. אציג להלן שתי דוגמאות לממצאים שמראים שהתודעה משפיעה על המוח.

---

[25] עדי צמח, בתוך: "שאלות על אלוהים" בעריכת: יזהר הס ואלעזר שטורם, הד ארצי, 1998. (עמוד 190).
[26] מקור - וויקיפדיה:
https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A4%D7%95%D7%9C_%D7%93%D7%99%D7%A8%D7%90%D7%A7
[27] LEON WIESELTIER, "The God Genome", NY Times, 19/2/2006.
http://www.nytimes.com/2006/02/19/books/review/19wieseltier.html?pagewanted=print&_r=0

אפקט הפלצבו:

אפקט הפלצבו (תרופת דמה) הוא תופעה נצפית שבה חולים מדווחים על שיפור במצבם גם אם הם מקבלים תרופות דמה, שאין להן כל השפעה מבחינה פיזיולוגית. האמונה של החולה שהוא מקבל טיפול, היא שגורמת לשיפור במצבו. חברות תרופות שרוצות לקבל אישור לשיווק של תרופות חדשות מחויבות לבצע ניסויים קליניים על מנת להראות שלתרופה החדשה יש השפעה מובהקת מעבר לאפקט הפלצבו. בניסויים אלה המטופלים מחולקים לשתי קבוצות, כאשר קבוצה אחת מקבלת את התרופה האמתית ואילו הקבוצה השנייה מקבלת תרופת פלצבו. התנאי לכך שהניסוי יעמוד בקריטריונים מדעיים הוא שהן הרופאים המטפלים והן החולים המטופלים לא ידעו מי מקבל תרופה אמתית ומי מקבל פלצבו.

בשנת 2012 נפתחה בביה"ס לרפואה של אוניברסיטת הרווארד תכנית מחקר לגבי אפקט הפלצבו[28]. תכנית זו הניבה תובנות רבות לגבי אפקט פלצבו, ולהלן אביא מספר דוגמאות. 270 חולים שסבלו מכאבים חזקים כתוצאה מתסמונת מנהרת שורש כף היד או מדלקות בגידים השתתפו במחקר שנועד לבחון שיטות שונות לטיפול בכאב. חלק מהמטופלים קיבלו כדורים נגד כאבים וחלקם קיבלו טיפול בדיקור סיני (אקופנקטורה). הסתבר שרוב החולים דיווחו על שיפור ניכר במצבם, עם יתרון קל לטיפול בדיקור. שליש מהחולים דיווחו על תופעות לוואי קשות כגון: תשישות ואי יכולת לקום מהמיטה. המטופלים בדיקור דיווחו על אדמומיות בעור והתנפחות של האזור בו התבצע הטיפול. אולם למעשה המחקר לא בדק את האפקטיביות של שיטות הטיפול, מכיוון שאף חולה לא קבל טיפול אמתי. הכדורים נגד כאבים היו כולם פלצבו והמחטים שלכאורה שימשו לדיקור לא באמת חדרו את העור. החולים הגיבו רק למה שנאמר להם: החולים שמצבם השתפר האמינו שהם מקבלים טיפול טוב, ואילו החולים שסבלו מתופעות לוואי הם אלה שהוזהרו כנגד אותן תופעות לוואי בדיוק. במחקר נוסף שנעשה על חולים שסבלו ממיגרנה קיבלו חלק מהחולים משכך כאבים אמתי למיגרנה, בעוד שאחרים קיבלו כדורי פלצבו. אולם החולים שקיבלו משככי כאבים אמתיים חשבו שהם מקבלים פלצבו, מכיוון שעל אריזת התרופה היה כתוב פלצבו. לעומתם החולים שקיבלו פלצבו חשבו שהם מקבלים משכך כאבים, מכיוון שעל האריזה נכתב שמה של התרופה האמתית. הסתבר שלא היה שום הבדל באפקט בין שתי התרופות. לעומת זאת כאשר התרופות ניתנו עם ההתוויה הנכונה על האריזה, היעילות של משכך הכאבים האמתי הייתה גבוהה ב-50% ביחס לפלצבו[29].

מחקרים שנערכו באמצעות שיטות הדמיה הראו שהאמונה של המטופל בטיפול הרפואי שהוא מקבל, יוצרת שינויים כימיים וביולוגיים במוח שהם הגורמים לאפקט הפלצבו. פבריציו בנדטי – חוקר בתחום של מדעי המוח מאוניברסיטת טורינו – הציג את מסקנות המחקר שלו באופן הבא:

"אנו, מדעני המוח שחוקרים את אפקט הפלצבו, למדנו שטקסים רפואיים גורמים לתזוזה של הרבה מולקולות במוח של המטופל, והמולקולות האלה הן בדיוק אותן מולקולות שמופעלות על ידי התרופות שאנו נותנים בפרקטיקה הרפואית השגרתית. במלים אחרות טקסים ותרופות משתמשים באותם נתיבים ביוכימיים על מנת להשפיע על מוחו של המטופל."[30]

התובנה שעולה ממחקרים של אפקט הפלצבו היא ברורה: האמונה, שהיא תהליך תודעתי, יוצרת תגובה ביוכימית במוח.

הפרעה טורדנית כפייתית (OCD):

הפרעה טורדנית כפייתית היא הפרעה נפשית שמתבטאת במחשבות טורדניות לא רציונליות שגורמות לחולה לבצע פעולות טקסיות אובססיביות. כך למשל אנשים שסובלים מהפרעה זו ירחצו את ידיהם עשרות פעמים ביום בגלל החשש מזיהומים, או יחזרו לביתם פעמים רבות במשך היום על מנת לוודא שהם נעלו את הדלת. ג'פרי שוורץ – פסיכיאטר ב- UCLA – התחיל לטפל בחולי OCD בתחילת שנות ה-80. שוורץ השתמש בטכניקת הדמיה של PET על מנת לאתר היכן נמצא מקור ההפרעה במוח. הוא מצא ש- OCD נגרם כתוצאה ממעגל עצבי במוחו של החולה שנפגם. באדם בריא מנגנון זה אחראי על שליחת אותות סכנה ועל יצירת דחף להפחית את גורמי הסיכון. אולם כשהמנגנון נפגם הוא משדר אותות סכנה ללא סיבה. דבר זה גורם לכך שעל החולה משתלטת תחושה שמשהו לא טוב קורה לו, ביחד עם דחף כפייתי לתקן את הבעיה. שוורץ מצא עוד שהחלקים הקדמיים של המוח, שקשורים לתפקודי התודעה

---

[28] Cara Feinberg, "The Placebo Phenomenon", Harvard Magazine, January-February 2013

[29] Ted J. Kaptchuk, and Franklin G. Miller, "Placebo Effects in Medicine", N Engl J Med 2015.

[30] Cara Feinberg, "The Placebo Phenomenon", Harvard Magazine, January-February 2013

הגבוהים אינם מושפעים מה- OCD. כתוצאה מכך החולה מבין את חוסר ההיגיון במעשיו, למרות שאין לו שליטה עליהם. בעקבות זאת הוא פתח שיטה פסיכולוגית לטיפול בבעיה שמבוססת על ארבעה שלבים, ומאפשרת לחולה לקבל שליטה על מצבו באמצעות החלטות מודעות שהוא עושה. שוורץ והצוות שלו בדקו כיצד מגיב מוחו של החולה ליישומה של השיטה שלו. באמצעות סריקות PET הם מצאו שחולים שיישמו את השיטה הצליחו להפחית את הפעילות המוחית השגויה, שמביאה ל- OCD. כך מתאר שוורץ את תוצאות המחקר שלו:

"זהו המחקר הראשון שמראה שטיפול שמבוסס על שינוי בהתנהגות ושינוי בתפיסת העולם, או למעשה טיפול פסיכיאטרי שאיננו מבוסס על תרופות, יכול לשנות ולתקן את הכימיה של המוח בתוך מעגל עצבי מוגדר...
הצלחנו להדגים שינויים במוחם של החולים, באמצעות שינוי של הדרך שבה הם חושבים על המחשבות שלהם[31]."

כמו במקרה של אפקט הפלצבו, גם בדוגמה זאת שינוי מחשבתי בתודעתו של החולה הביא לשינוי בביוכימיה של המוח, וכתוצאה מכך לריפוי של בעיה נפשית שמקורה פיזיולוגי.

האמור לעיל מצביע על כך שאין סתירה בין המחקר המדעי להשקפה הרוחנית שעל פיה לתודעה יש קיום נפרד מהגוף. אנשי מדע רבים אינם מקבלים את ההשקפה שלתודעה אין קיום משל עצמה, והיא תוצר של פעילות כימית במוח. מריו בורגארד – מדען קנדי שעוסק במחקר בתחום של מדעי המוח – מציג גישה שמשלבת בין המחקר המדעי להשקפה הרוחנית בספרו "המוח הרוחני"[32]:

"כפי שראינו ישנם נימוקים מדעיים עקביים לגישה לא מטריאליסטית לתודעה ולחשיבה. אבל גישה לא מטריאליסטית איננה גישה אנטי מטריאליסטית. המדע הלא מטריאליסטי יכול להסביר את כל התופעות שנובעות מתכונותיו של החומר. אבל מדע כזה איננו דורש להראות שהמקור של כל התופעות הוא חומרי – זהו ההבדל המשמעותי בינו לבין המדע המטריאליסטי."

[31] מקור: Mario Beauregard & Denyse O'Leary, "The Spiritual Brain", Harper One, 2007 (page 128)
[32] Mario Beauregard & Denyse O'Leary, "The Spiritual Brain", Harper One, 2007 (page 179)

ח. התפתחות התודעה

ניתן לסכם את המסקנות משני הדיונים הקודמים באופן הבא:

- אופן פעולתו של היקום מצביע על מציאות רוחנית שהיא הבסיס של חוקי הטבע והקבועים הפיזיקליים, והיא מאפשרת את תהליך האבולוציה והתפתחות החיים.
- לתודעה האנושית ישנו גם כן היבט רוחני שהוא בעל קיום נפרד מהגוף. היבט זה לא רק שאיננו תוצאה של הפעילות הכימית במוח שלנו, אלא שהוא יוצר תגובות כימיות במוח כתוצאה מרצון חופשי ומבחירה.
- קיים קשר בין התודעה האנושית למציאות הרוחנית שביקום, שלשם פשטות נקרא לה "התודעה הגבוהה". קשר זה בא לידי ביטוי ביכולתה של התודעה שלנו להבין את החוקיות ביקום באופן מופשט.

ההסבר שהצגתי קודם, שעל פיו התודעה הגבוהה של היקום מכוונת את תהליך ההתפתחות שמביא ליצירה של סדר מתוך כאוס, מעלה את השאלה האם קיים גם תהליך של התפתחות לתודעה האנושית. במלים אחרות האם התודעה האנושית יכולה להתקרב לתודעה הגבוהה באמצעות תהליך של אבולוציה. המדע הקונבנציונלי מתקשה לענות על שאלה זו. המתודה המדעית שמתבססת על תצפיות בתופעות, איננה יכולה לעבוד בתחום של חקר התודעה. הסיבה לכך היא פשוטה: איננו יכולים לצפות בתודעה של אנשים אחרים, אנו מכירים רק את התודעה של עצמנו. כל המידע שלנו על התודעה של אדם אחר הוא עקיף ומתבסס על מה שאותו אדם יכול או רוצה לספר לנו. לעומת זאת את התודעה שלנו אנו מכירים ממקור ראשון. לפיכך על מנת לחקור את התודעה אנו צריכים למעשה לחקור את עצמנו.

חקר עצמי של התודעה היה קיים לכל אורך ההיסטוריה האנושית. "חוקרי התודעה" הם אותם מורים רוחניים שעסקו בחקר התודעה של עצמם, ושיתפו את תלמידיהם בידע שלהם. לפיכך יש לחפש את התובנות לגבי התפתחות התודעה בתורות רוחניות. להלן אציג מספר תובנות כאלה מפיהם של שלושה מורים רוחניים: גורדייף שכבר הוזכר קודם, רודי (סוואמי רודרננדה)[33] מורה רוחני אמריקאי שלימד בניו יורק ואליזבט הייך[34] מורה רוחנית ממוצא הונגרי שלימדה בעיקר בשוויץ. המכנה המשותף של מורים אלה הוא שכולם גדלו בתרבות המערבית, ולכן הצליחו להעביר את התובנות של התפתחות התודעה בשפה שמובנת לנו. יתרה מכך מורים אלה עסקו באופן פעיל בחיפוש דרכים רוחניות שיביאו אותם למטרתם – התפתחות התודעה. מכיוון שהם לא באו מעולם המושגים התרבותי-דתי שבמסגרתו נוצרו הדרכים האלה, הם היו משוחררים מהצורך להצדיק דת או אמונה מסוימת. המבחן שלהם לכל דרך רוחנית היה אך ורק מידת האפקטיביות שלה להשגת המטרה. הם חיפשו טכניקות רוחניות, העמידו אותן למבחן תוצאתי על עצמם, ולאחר מכן המשיכו לפתח אותן באופן התנסותי.

התובנה הראשונה שעולה מדבריהם של שלושת המורים האלה היא שהתפתחות התודעה האנושית היא אפשרית, אבל לא הכרחית.

גורדייף מציג עמדה זו בצורה נחרצת:

"על מנת להבין את חוק האבולוציה של האדם, יש לתפוס שמעבר לנקודה מסוימת אין אבולוציה זו דרושה כלל, כלומר אין היא דרושה לטבע ברגע מסוים של התפתחותו שלו. ביתר דיוק: האבולוציה של המין האנושי מתאימה לאבולוציה של כוכבי הלכת, אך האבולוציה של כוכבי הלכת מתנהלת מבחינתנו במחזורי זמן ממושכים עד אינסוף. בתחומו של פרק הזמן שהמחשבה האנושית עשויה להקיף לא יוכלו להתרחש שינויים מהותיים בחיי כוכבי הלכת, וכתוצאה מכך לא יוכלו להתרחש שינויים מהותיים בחיי המין האנושי."

....

"אך בו בזמן קיימות אפשרויות של אבולוציה, וניתן לפתח אותן ביחידים נפרדים בעזרתם של ידע ושיטות נאותים. התפתחות זו עשויה להתרחש אך ורק מתוך אינטרס של האדם עצמו בניגוד, אם ניתן לומר כן, לאינטרסים ולכוחות של עולם כוכבי הלכת. על האדם להבין זאת: האבולוציה נחוצה רק לו לבדו. איש זולתו אין לו עניין בה. ואין איש שחייב או מתכוון לעזור לו."[35]

---

[33] וויקיפדיה - https://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Rudolph

[34] וויקיפדיה - https://en.wikipedia.org/wiki/Elisabeth_Haich

[35] פ.ד. אוספנסקי, "חיפוש אחר המופלא", הוצאת שוקן, 1979. (עמודים 67-68).

גישה דומה, אם כי יותר מרוכבת מוצגת גם על ידי אליזבט הייך בספרה "יוגה ואנרגיה מינית":

"השלבים האחרונים שבהם אדם גדל מחוץ לגופו לתוך המציאות הרוחנית יושגו על ידי כולם בכל מקרה, כחלק מההתפתחות הטבעית של התודעה. תהליך התפתחות זה הוא חלק מהטבע שלנו, בדיוק כפי שבתוך העץ קיים תהליך של השרשה, הצמחת עלים וענפים, פריחה ולבסוף השיא שמתבטא במתן פרי. המטרה שמניעה את התהליך הזה חבויה כבר בזרע שממנו צומח העץ. בדומה לזרע גם האדם נושא בתוכו את היכולת להגיע למטרה הגבוהה ביותר – אלוהים – ולהפוך לאיש אלוהים. אולם דרך זאת להתפתחות באמצעות חוקי הטבע לוקחת זמן רב מאוד, אולי אפילו אלפי שנים. היא מפרכת, כרוכה בסבל רב ודורשת גלגולי חיים רבים. למרות זאת לאדם ישנה יכולת נסתרת בתוכו, שקשורה לאנרגיה המינית שלו, שבעזרתה הוא יכול להשיג את דרגות ההתפתחות הפוטנציאליות בזמן קצר בהרבה. בדיוק כשם שניתן לגרום לפרחים לפרוח מוקדם יותר על ידי שימוש באמצעים מלאכותיים, כך גם האדם יכול להשיג בגרות מהר יותר בדרכו הפנימית למודעות באמצעות שיטות שונות של יוגה שמאיצות את ההתפתחות הפנימית שלנו."[36]

רודי התמקד בדבריו רק בתהליכים שנוגעים לעבודה רוחנית, אולם גם הוא סבר שהתפתחות התודעה מחייבת מאמץ מודע של התלמיד, ואיננה מתרחשת מעצמה.

"תהליך הגדילה ידרוש הרבה יותר זמן ומאמץ ממה שאתם חושבים. לא תצליחו להפוך לאנשים רוחניים אם לא תעבדו בפרך. זה לא יקרה בשום דרך אחרת. תרגול המדיטציה לבדו לא יביא אתכם להארה. אני יכול להעיד על כך. תצטרכו לעבוד, ולהקריב דברים שחשובים לכם ולהמשיך לעבוד עד שתהפכו את חייכם הרגילים למועילים. צריך להרוויח את החיים הרוחניים. הם לא ניתנים לכם; אתם צריכים להרוויח אותם."[37]

התובנה השנייה שאותה ניתן למצוא באופן בולט אצל אליזבט הייך ואצל רודי היא שתהליך התפתחות התודעה איננו מנותק מהגוף שלנו, והוא קשור למערכת העצבים המרכזית ולמוח. הקשר הזה בין התפתחות התודעה למערכת העצבים מתבסס על מעבר הדרגתי של אנרגיה נפשית דרך שבעה מרכזי אנרגיה, שבמהלכו מתרחש תהליך ההתפתחות. שבעת מרכזי האנרגיה הם הביטוי של חוק האוקטבה בתהליך התפתחותה של התודעה.

"אם נצייר את עמוד השדרה ביחד עם המוח וחוט השדרה, נוכל לראות צורה של נחש. הנחש מסמל את ההתגשמות של התודעה העליונה (הלוגוס) בעולם ובאדם. במקביל הוא מסמל גם את ההתנגדות לתודעה העליונה שממוקמת באדם בחוט השדרה. חוט השדרה שמורכב מחומרים עדינים מאוד, הוא הנושא של הכוח היצירתי הרוחני שנותן לנו חיים. כוח זה נובע, בתדירויות שהולכות וגוברות, משבעה מרכזים רוחניים, באמצעות אברים מתאימים שנושאים את הכוח היצירתי באמצעות התנגדות."[38]

רודי פיתח שיטת תרגול ייחודית להפעלת מרכזי האנרגיה שבה בא לידי ביטוי מפורש חוק האוקטבה. מערכת מרכזי האנרגיה (צ'קרות) היא מרכיב מרכזי בשיטות יוגה רבות, אולם הדרך שבה הציג רודי את תפקידה של מערכת זו היא ייחודית לשיטתו. רודי ראה במערכת הצ'קרות מקבילה נפשית של מערכת העיכול הפיזית. תפקידה של מערכת הצ'קרות הוא להתמיר את המתחים ואת האנרגיות הנמוכות שאתם אנו מתמודדים בחיי היומיום, לאנרגיה רוחנית גבוהה. תהליך התמרה זה הוא למעשה מהותה של הגדילה הרוחנית.

---

[36] Elisabeth Haich, "Sexual Energy and Yoga", Aurora Pres, 1982. (Pages 28-29)
[37] "Rudi – In His Own Words", Rudra Press, 1990. (Page 37)
[38] Elisabeth Haich, "Sexual Energy and Yoga", Aurora Pres, 1982. (Page 40)

״בדומה למערכת העיכול הפיזית שתפקידה לפרק את המזון שאנו אוכלים ולהפוך אותו לאנרגיה, קיימת גם מערכת עיכול נפשית שקולטת לתוכה אנרגיה נפשית והופכת אותה לאנרגיה רוחנית גבוהה.״[39]

....

״הדרך הפשוטה ביותר לתאר את מערכת העיכול הנפשית היא למתוח קו מנקודה שנמצאת קצת מעל המצח לאורך מרכז הגוף עד לאזור של אברי המין. לאורך הקו הזה נמצאים מרכזי אנרגיה שנקראים צ׳קרות. הקו עצמו הוא אפיק טבעי שדרכו זורם הכוח הרוחני.״[40]

....

״העין השלישית היא הפה של מערכת העיכול הנפשית. משם האנרגיה יורדת למטה לאורך הגוף לגרון ואחר כך למרכז של הלב, במרכז בית החזה. כאשר תוכלו לזהות את ההתנסות הזאת של זרימת אנרגיה בתוככם, עליכם לעבוד במודע על מנת להזרים את הכוח דרככם, ולמשוך אותו למטה לאברי המין ומשם אחורה לבסיס עמוד השדרה. אז הוא עולה דרך חוט השדרה ולבסוף מגיע לקדקוד ולחלקו האחורי של הראש. זהו המעגל השלם של מערכת העיכול הנפשית״.[41]

....

״על מנת להיות יצירתי, רעיון חייב להתחיל בראש ולעבור דרך כל הגוף לפני שהוא חוזר לראש. הכוח הרוחני מגיע לאדם דרך הראש ועובר דרך החזה לטבור ומשם למעלה במעלה עמוד השדרה עד שהוא חוזר לראש. המעגל השלם הזה של זרימת האנרגיה נמשך כל הזמן.״[42]

התיאור של מערכת הצ'קרות שמורכבת משבעה מרכזי אנרגיה שיוצרים מעגל, תואם לחלוטין את חוק האוקטבה שהוצג בתחילת המאמר. התו הראשון – דו – הוא מרכז האנרגיה שנמצא במצח ונקרא גם "העין השלישית". מרכז זה מהווה את הפה של מערכת העיכול הנפשית, שדרכו המזון נכנס לתוכה. התו האחרון באוקטבה – סי – הוא מרכז האנרגיה של הכתר שנמצא בקדקוד הראש. באופן זה מעגל זרימת האנרגיה מתחיל ומסתיים בראש. אנרגיה נמוכה שמורכבת בעיקר ממתחים נעה מהמרכז של המצח (העין השלישית) דרך המרכזים של הגרון, הלב והטבור עד לאברי המין. באברי המין מרוכזת האנרגיה המינית שלנו, וכשהיא נפגשת עם האנרגיה שהגיעה מהמרכז של הטבור היא עוברת התמרה שמאפשרת לה לעורר את אנרגיית הקונדליני. אנרגיה זו נמצאת במצב רדום בבסיס עמוד השדרה, וכשהיא מתעוררת היא עולה לאורך חוט השדרה עד לקדקוד הראש. אנרגיית הקונדליני שמגיעה לקדקוד הראש גורמת למרכז של הכתר להיפתח, ובכך מושלם המחזור הראשון של האנרגיה. אולם פתיחתו של מרכז האנרגיה בקדקוד הראש איננה סוף התהליך, אלא רק תחילתה של אוקטבה נוספת של אנרגיה מעודנת יותר שגם היא עוברת דרך מערכת העיכול הנפשית ומזינה אותה. באופן זה נמשך תהליך הגדילה ללא הפסקה, בדומה לספירלות שראינו בטבע. כל השלמה של מחזור אחד מאפשרת את תחילתו של המחזור הבא אחריו שמביא אתו אנרגיה מעודנת יותר.

כפי שראינו קודם באוקטבה ישנם שני מעברים שבהם קיימת אי רציפות:

המעבר בין המרכז של הלב (מי) למרכז של הטבור (פה), והמעבר מהמרכז של הכתר (סי) לתחילת האוקטבה הבאה (דו) בעין השלישית. שיטת התרגול שפיתח רודי נועדה להתגבר על הקושי שטמון במעברים האלה. השלב הראשון הוא תרגיל נשימה כפולה שמטרתו לסייע במעבר שבין המרכז של הלב למרכז של הטבור. התרגיל מוצג במובאה הבאה מתוך הספר "רודי - 14 שנים עם המורה שלי".

״אתם נושמים למרכז של הלב תוך ספירה עד עשר. לאחר מכן תחזיקו את הנשימה, שוב תוך כדי ספירה עד עשר, ואז תתחילו לשחרר אותה. מיד עם תחילת השחרור תעבירו את תשומת הלב לבטן התחתונה, ולאחר ששחררתם חלק קטן מהאוויר, תתחילו לנשום שוב תוך ספירה עד עשר. לאחר מכן שוב תעצרו את הנשימה למשך עשר שניות ותשחררו אותה תוך כדי ספירה עד עשר. זוהי הנשימה הכפולה. לוקח קצת זמן להתרגל אליה, אבל התוצאות יכולות להיות בלתי רגילות. בכל מקרה, אין לבצע אותה לעתים קרובות מכיוון שהיא תביא לטעינת יתר של המערכת. פעם או פעמיים בכל עשר דקות זה מספיק.״ [43]

---

[39] John Mann, “Rudi – 14 Years with my Teacher” Rudra Press, 1987. (Page 141)
[40] John Mann, “Rudi – 14 Years with my Teacher” Rudra Press, 1987. (Page 142)
[41] John Mann, “Rudi – 14 Years with my Teacher” Rudra Press, 1987. (Page 46)
[42] Rudi (Swami Rudrananda), “Spiritual Cannibalism”, The Overlook Press, 1978.(Page 28)
[43] John Mann, “Rudi – 14 Years with my Teacher” Rudra Press, 1987. (Page 146)

תרגיל הנשימה הכפולה הוא לב ליבה של שיטת המדיטציה של רודי, והוא מאפשר לאנרגיה לעבור בין המרכז של הלב למרכז של הטבור. לאחר שהתבצע מעבר זה, זורמת האנרגיה ללא הפרעה ומעוררת את המרכז של הקונדליני בבסיס עמוד השדרה. הקשר בין מבנה האוקטבה לטכניקת המדיטציה של רודי מוצג בתרשים שלהלן:

מספר	מרכז אנרגיה	תו
1	ראש - מצח - רצון	דו
2	גרון	רה
3	לב	מי
	תרגיל נשימה	
4	טבור	פה
5	אבר המין	סול
6	בסיס עמוד השדרה	לה
7	ראש - קודקוד - כתר	סי
	ויתור - שביתה	
8	ראש - מצח - עין שלישית	דו

למעשה תרגיל הנשימה הכפולה מאפשר את השלמתה של האוקטבה הראשונה. המעבר הבא לאוקטבה גבוהה יותר מצריך את פתיחתו של המרכז של הכתר בקדקוד הראש. לשם כך נדרשת משמעת פנימית שמאפשרת לוותר על המחשבות ועל הרגשות.
רודי מסביר את המשך התהליך במובאה הבאה מתוך הספר "קניבליזם רוחני".

"לאחר שהכוח יורד אל מתחת לאזור החזה אל הטבור ואל האזור של אברי הרבייה, ההכוונה של זרימת האנרגיה כלפי מעלה לאורך עמוד השדרה היא פשוטה כמו פתיחת דלת. גם כאן צריך להשתמש בראש כמו מפתח לפתיחת הדלת. עליכם לוותר על כל הרגשות באזור החזה ולאפשר לכוח להתפשט בחזה. המחשבות הן הסכנה הגדולה ביותר, חייבים לוותר עליהן ברציפות על מנת לאפשר לכוח להתפשט."[44]

ניתן לראות שטכניקת המדיטציה שפיתח רודי מפעילה את מערכת העיכול הנפשית על פי העקרונות של חוק האוקטבה, כפי שתיאר אותם גורדייף. פתיחתו של המרכז השביעי בקדקוד הראש מאפשרת לנו להתחבר עם התודעה הרוחנית הגבוהה, והיא תלויה בוויתור או בהשבתה של המחשבות והרגשות.
רודי תאר את התהליך של התפתחות התודעה במונחים פיזיים וטען שהוא משפיע גם על גופו של האדם.

"ניסים הם תוצאה של שינויים מסוימים בזרימה החשמלית שבגוף. כוחות אלה נוצרים עקב שינויים נפשיים שמביאים לתנאים כימיים חדשים."[45]

מחקרים מדעיים שנערכו על אנשים שמתרגלים מדיטציה אכן מצאו שינויים פיזיולוגיים בעקר במוח, שנובעים מהתרגול הרוחני. להלן תיאור של שלושה מחקרים בולטים בתחום זה.
שרה לזר – מדענית מאוניברסיטת הרווארד – חקרה את ההשפעה של תרגול מדיטציה על המוח באמצעות טכניקת MRI. במאמר שפרסמה לזר בשנת 2005 ביחד עם צוות של חוקרים נוספים היא הראתה כיצד השפעה זאת מתבטאת[46]. המחקר השווה את עובי החומר האפור בקליפת המוח בין קבוצה

---

[44] Rudi (Swami Rudrananda), “Spiritual Cannibalism”, The Overlook Press, 1978. (Pages 39-40)
[45] Rudi (Swami Rudrananda), “Spiritual Cannibalism”, The Overlook Press, 1978. (Page 88)
[46] Meditation experience is associated with increased cortical thickness, Neuroreport. 2005 Nov 28; 16(17): 1893–1897.
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/eutils/elink.fcgi?dbfrom=pubmed&retmode=ref&cmd=prlinks&id=16272874

של מתרגלי מדיטציה (20 אנשים) לקבוצת ביקורת (15 אנשים). החומר האפור[47] הם אותם תאים שאחראים על עיבוד המידע במוח. כל המאפיינים של הקבוצות היו זהים (גיל ממוצע, התפלגות מגדרית, השכלה, גזע), כשההבדל היחידי היה שבקבוצה שנבדקה האנשים עסקו במדיטציה במשך 7-9 שנים ותרגלו בין 4 ל-6 שעות בשבוע. נמצאו הבדלים משמעותיים בעובי של החומר האפור במוח בשני אזורים: האזור שאחראי לגירויים תחושתיים (אינסולה), ובקליפת המוח הקדם-מצחית שמעורבת בחשיבה יצירתית, בתפקודים מחשבתיים גבוהים, ובתפקודים ניהוליים. אזור זה נחשב למקור של הפעולות הרצוניות, ואצל קבוצת המתרגלים נמצאו בו יותר חומר אפור ביחס לקבוצת הביקורת. כמות החומר האפור באזור זה של המוח בדרך כלל פוחתת ככל שמזדקנים, אולם המחקר הראה שלמתרגלי מדיטציה בני 50 הייתה אותה כמות של חומר אפור כמו לבני 25. במחקר נוסף שערכה לזר ביחד עם קבוצה של חוקרים היא מצאה שינויים בכמות החומר האפור באזורים שונים במוח אצל קבוצת נבדקים שתרגלה מדיטציה במשך כחודשיים, הן ביחס לעצמם והן ביחס לקבוצת הביקורת.[48]

ריצ'רד דוידסון – מדען מאוניברסיטת וויסקונסין – בדק את ההשפעה של תרגול מדיטציה על הפעילות החשמלית של המוח. פעילות זו שנקראת גם "גלי מוח" נמדדת באמצעות טכניקת שנקראת EEG (אא"ג - אלקטרואנצפלוגרם) שבה מחברים לראשו של הנבדק אלקטרודות ומתעדים את הפעילות החשמלית של המוח. בדרך כלל גלי המוח מופיעים בכמה תדירויות אופייניות: גלי אלפא בתדר של 8-15 הרץ מופיעים במצבי מנוחה; גלי בטא בתדר של 16-31 הרץ מופיעים בכל מצבי הערות הרגילים; גלי גמא בתדר גבוה מ- 32 הרץ מופיעים במצבים של ריכוז ומודעות מוגברים. דוידסון השווה בין הפעילות החשמלית המוחית של שתי קבוצות: 8 נזירים בודהיסטים בעלי ניסיון של עשרות שנים במדיטציה; קבוצת ביקורת של 10 אנשים חסרי ניסיון במדיטציה, שקבלו הכשרה של שבוע בטכניקת המדיטציה. שתי הקבוצות התבקשו לבצע טכניקת מדיטציה זהה והפעילות החשמלית המוחית שלהם נמדדה באמצעות 256 אלקטרודות שחוברו למכשיר EEG[49]. דוידסון מצא שאצל הנזירים הבודהיסטים המוח הופעל בצורה שונה לחלוטין ביחס לקבוצת הביקורת. מדידת האא"ג הראתה שאצל הנזירים הפעילות המוחית בזמן מדיטציה התבטאה בגלי גמא חזקים מאוד, שנוצרו באופן מסודר ומובנה. אצל קבוצת הביקורת לעומת זאת נצפתה עליה מאוד קטנה בגלי הגמא. יתרה מכך עוצמת גלי הגמא שנמדדה אצל חלק מהנזירים הבודהיסטים לא נצפתה עד כה אצל אנשים בריאים. עוד נמצא מתאם בין מספר השנים שהנזירים עסקו במדיטציה לעוצמת גלי הגמא שנוצרו במוחם בזמן המדיטציה. קשר זה בין עוצמת התגובה (גלי הגמא) למינון (תרגול מדיטציה) מהווה במחקר אינדיקציה לסיבתיות. בנוסף לכך כאשר נבדקה הפעילות החשמלית במוח במצב רגיל נמצא שאצל הנזירים נוצרו גלי גמא גם ללא תרגול מדיטציה, בעוד שאצל קבוצת הביקורת לא. המסקנה של דוידסון הייתה שלמדיטציה יש השפעה ארוכת טווח על המוח, והיא משנה את האופן שבו הוא עובד.

צוות המחקר של דוידסון ממשיך לחקור את השפעתה של המדיטציה על המוח. סקירה עדכנית של מחקרים אלה מוצגת במאמר שנקרא: "מוחו של הבודהא".
("Buddha's Brain: Neuroplasticity and Meditation"[50]).

מחקר נוסף שנערך באוניברסיטת ייל בדק את השפעת תרגול המדיטציה על פעילות מוחית שגרתית[51]. במשך רוב זמן הערות שלנו אנו נמצאים במצב של פיזור נפשי שבו המחשבות נודדות מדבר לדבר באופן אקראי. מצב זה של פיזור נפשי זוהה במחקר הפסיכולוגי כקשור לדיווחים על חוסר אושר. כמוכן נמצא שבמצבים של פיזור נפשי מופעלים סדרה של אזורים במוח שנקראים "רשת של ברירת המחדל" (DMN Default Mode Network). הפעלה של אזורים אלה קשורה גם לבעיות נוירולוגיות שונות כגון: היפראקטיביות, בעיות של קשב וריכוז ואפילו אלצהיימר. החוקרים רצו לבדוק האם תרגול מדיטציה מפחית את ההפעלה של רשת ברירת המחדל במוח. לשם כך השתמשו החוקרים בטכניקת סריקה fMRI

---

[47] מקור "ניוז- מדיקל": http://www.news-medical.net/health/What-is-Grey-Matter.aspx

[48] Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. Psychiatry Res. 2011 Jan 30; 191(1): 36–43
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/eutils/elink.fcgi?dbfrom=pubmed&retmode=ref&cmd=prlinks&id=21071182

[49] מקור: דיווח על המחקר בוושינגטון פוסט –
http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A43006-2005Jan2.html
מראה מקום של המאמר המקורי: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC526201/

[50] מקור: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2944261/

[51] Meditation experience is associated with differences in default mode network activity and connectivity - http://www.pnas.org/content/108/50/20254.full

על קבוצה של 12 מתנדבים בעלי ניסיון של יותר מ- 10 שנים בתרגול מדיטציה. קבוצת המתרגלים הושוותה לקבוצת ביקורת של 12 מתנדבים חסרי ניסיון בתרגול מדיטציה. המאפיינים של שתי הקבוצות מבחינת ארץ המוצא (ארה"ב), שפת האם (אנגלית), מין, גיל, גזע, רמת השכלה ותעסוקה הושוו. כל המתנדבים התבקשו לבצע תרגול של מדיטציה (כאשר קבוצת חסרי הניסיון עברה הדרכה ע"י החוקרים) שבמהלכה התבצעה סריקת המוח. המחקר מצא הבדלים מובהקים בין קבוצת המתרגלים לקבוצת הביקורת בהקשר של הפעלת רשת ברירת המחדל במוח. הסתבר שאצל קבוצת המתרגלים האזורים במוח שקשורים לנדידת מחשבות ולפיזור נפשי הופעלו הרבה פחות ביחס לקבוצת הביקורת. המשמעות היא שריכוז ותשומת לב שמאפיינים את תרגול המדיטציה יוצרים שינויים ברי קיימא במוח.
כאמור שלושת הדוגמאות הנ"ל הן רק חלק קטן מהממצאים המדעיים שמצביעים על כך שתרגול המדיטציה מביא לשינויים במוחם של המתרגלים. מסתבר שהאבחנה האישית של רודי לגבי שינויים פיזיולוגיים שנובעים מהתהליך של התפתחות התודעה, מקבלת ביסוס גם במחקר המדעי.
ביטוי לגישה מדעית להתפתחות התודעה ניתן למצוא במובאה שלהלן מספרו של מריו בורגארד "המוח הרוחני"[52]:

"היינו יכולים לצפות שהתודעה של יצורים חיים תתפתח אם אכן התודעה היא היסוד של היקום. התודעה היא תכונה יסודית שאיננה ניתנת לפירוק. חקר התודעה במאה העשרים ואחת צפוי להיות מסע מרתק. אבל הוא ייכשל אם מטרתו היחידה תהיה לצמצם את התודעה למשהו שהיא איננה, או להמחיש שהיא רק אשליה."

....

"לגבי המחקר של נושאים רבים שספר זה מציג, השאלה המרכזית היא מה כוונתנו במונח "מדעי"? אם במונח "מדעי" אנו מתכוונים רק לאותם ממצאים שתומכים בהשקפת עולם מטריאליסטית, הבנתנו את המוח האנושי תהיה תמיד לא שלמה. לעומת זאת אם המונח "מדעי" מתייחס לשימוש בשיטות מדעיות ובסטנדרטים מדעיים, אזי המחקר שבודק את הקשר שבין פעילות מוחית לבין מצבים של מדיטציה והתבוננות פנימית הוא מדעי. באופן ספציפי לחוקרים בתחום של מדעי המוח יש הרבה מה לתרום להבנת מצבים אלה."

[52] Mario Beauregard & Denyse O'Leary, "The Spiritual Brain", Harper One, 2007 (pages 277-278)

ט. סוף דבר

במגילת סרך היחד שהתגלתה במערות קומראן מופיעות שתי המבואות הבאות:

"מאל דעות כול הווה ונהיה, ולפני היותם הכין כול מחשבתם ובהיותם לתעודותם.
כמחשבת כבודו ימלאו פעולתם ואין להישנות.
בידו משפטי כול והוא(ה) יכלכלם בכול חפציהם.
והוא(ה) ברא אנוש לממשלת תבל וישם לו שתי רוחות להתהלך בם עד מועד פקודתו.
הנה רוחות האמת והעול, במעון אור תולדות האמת וממקור חושך תולדות העול.
ביד שר אורים ממשלת כול בני צדק בדרכי אור יתהלכו, וביד מלאך חושך כול ממשלת בני עול ובדרכי חושך יתהלכו."[53]

....

"ואלה תיכון דרכיהם על כל החוקים האלה בהיאספם ליחד,
כל הבא לעצת היחד יבוא בברית אל לעיני כל המתנדבים,
ויקם על נפשו בשבועת אסר לשוב אל תורת משה,
ככל אשר צווה בכל לב ובכל נפש,
לכל הנגלה ממנה לבני צדוק הכוהנים שומרי הברית ודורשי רצונו,
ולרוב אנשי בריתם המתנדבים יחד לאמתו."[54]

המובאה הראשונה מציגה תפיסה דטרמיניסטית שעל פיה התודעה האנושית נקבעה מראש – ***"לפני היותם הכין כל מחשבתם."*** יתרה מכך התודעה האנושית נקבעה עפ"י אותו מערך חוקים שעל פיו פועלת התודעה הגבוהה- ***"כמחשבת כבודו ימלאו פעולתם ואין להישנות."*** השקפה זאת שנקראת "תורת הגזירה הקדומה" קובעת שכל מחשבותיו ופעולותיו של האדם נגזרות מתוך תכנון אלוהי ולכן אין לאדם למעשה אפשרות בחירה.

במובאה השנייה שנמצאת באותו טקסט מופיעה השקפה הפוכה לחלוטין. חברי הכת שמכנים את עצמם "היחד" מתנדבים להצטרף אליה. פעולת ההתנדבות מחייבת רצון חופשי ובחירה. יתרה מכך ההצטרפות לכת כרוכה בשבועה לקיים את תורת משה (שחברי הכת ראו את עצמם כממשיכיה האמתיים). מעדויות נוספות שיש לנו על כת האיסיים אנו יודעים ששבועה זו הייתה כרוכה באימוץ אורח חיים סגפני ומגבלות רבות שהמצטרף לקח על עצמו. כל האמור לעייל מחייב שתהיה לאדם אפשרות בחירה ורצון חופשי.

כיצד ניתן ליישב את הסתירה בין שתי ההשקפות האלה, שנמצאות באותו טקסט?

בדיון שהוצג במאמר זה מוצע פתרון לסתירה לכאורה. ראינו שניתן להסביר את תהליכי ההתפתחות ביקום באמצעות אקראיות שמוכוונת על ידי חוקיות שנובעת מתודעה גבוהה. חוקיות זו יוצרת כוונון עדין של תהליכי האבולוציה האקראית באופן שמאפשר את התפתחותם של החיים. עם כל זאת החוקיות איננה קובעת את ההתנהגות של כל חלקיק או כל תא ביקום. למעשה אנו רואים בטבע שילוב של תהליכים אקראיים ביחד עם תהליכים מכוונים, שביחד מביאים לאבולוציה.

במקביל ראינו שלתודעה האנושית יש גם אפשרות להתפתחות, אבל אפשרות זאת תלויה בבחירה שכל אדם עושה. התפתחות התודעה האנושית מתאפשרת באמצעות חוקיות דומה לזאת ששולטת בתהליכי ההתפתחות בטבע, ובאה לידי ביטוי באמצעות חוק האוקטבה.

לאור זאת ניתן להבין את תפיסת העולם שמוצגת במקורות האיסיים:

הן היקום והן התודעה האנושית הם תוצרים של התודעה הגבוהה ופועלים במסגרת של אותם חוקים. לתודעה האנושית יש אפשרות להתפתח ולהתקרב לתודעה הגבוהה, אולם על מנת לעשות זאת אדם חייב לפעול באופן מודע באמצעות אותה חוקיות שמכוונת את כל תהליכי ההתפתחות ביקום. בחירה מודעת זו מאפשרת לתודעה האנושית לעבור מאופן פעולה אקראי וחסר כיוון לאופן פעולה תכליתי שמביא למיצוי את הפוטנציאל שלנו.

זוהי הבחירה שעמדה בפני המתנדבים לעדת היחד לפני כ- 2,300 שנים, והיא עומדת גם בפנינו היום.

---

53 "תעודות לתולדות כת מדבר יהודה" האוניברסיטה העברית, ירושלים תשמ"ו. לוח III, עמוד 20

54 "תעודות לתולדות כת מדבר יהודה" האוניברסיטה העברית, ירושלים תשמ"ו. לוח V, עמוד 22.